

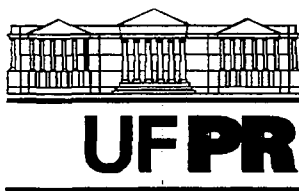
**FABIO TAKESHIGUE SAGARA**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE UMA PEQUENA BACIA  
HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL NO MUNICÍPIO DE GENERAL  
CARNEIRO-PR, ATRAVÉS DE MONITORAMENTO E MODELAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Agronomia,  
Área de Concentração: Ciências do Solo, Curso  
de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de  
Ciências Agrárias, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

**CURITIBA  
2001**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e  
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648  
E-mail: [pgcisolo@agrarias.ufpr.br](mailto:pgcisolo@agrarias.ufpr.br)

## P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **FÁBIO TAKESHIGUE SAGARA**, com o título: "**Estudo hidrológico de uma pequena bacia hidrográfica experimental no Município de General Carneiro-PR, através de monitoramento e modelagem**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 28 de setembro de 2001.

Prof. Dr. Masato Kobiyama, Presidente.

Dra. Tânia Lúcia Graf de Miranda, 1ª Examinadora.

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, 2ª Examinador.



## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, que apesar da distância sempre estiveram ao meu lado, me apoiando em todas as minhas decisões.

Ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado em Ciência do Solo.

Ao Prof. Dr. Masato Kobiyama, que além da orientação, apoio e compreensão em todos os momentos, foi sempre um grande amigo.

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, pela amizade, paciência e a contribuição para que este trabalho fosse concluído.

Ao Prof. Dr. Vander de Freitas Melo pela amizade e ajuda no levantamento de solos.

A todos os professores do Curso de Pós graduação em Agronomia, Área de concentração em Ciência do Solo da UFPR.

Aos bolsistas Dirceu Fruet, José R. Wermuth e Jean P. G. Minella pelo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao instituto ECOPLAN, em especial a Marco A. B. Ziliotto.

Aos funcionários da Fazenda Pizzatto pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho, em especial a Gladis de Freitas, Almir Bracisevicz, Sergio Redmund, Araide da Rosa, Marcelino Lepek e todos que auxiliaram durante este trabalho.

Aos amigos que me apoiaram, sem o qual não teria concluído este trabalho.

Aos colegas de mestrado pelo companheirismo e amizade, com os quais convivi durante o ano de créditos e durante o período de realização desta dissertação.

A todos que de alguma forma participaram da realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>4</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
3.1	CICLO HIDROLÓGICO	5
3.1.1	<i>Considerações gerais</i>	5
3.1.2	<i>Hidrograma</i>	7
3.1.3	<i>Evapotranspiração</i>	8
3.2	EFEITO DO REFLORESTAMENTO E DESMATAMENTO	9
3.3	BACIAS EXPERIMENTAIS PARA MONITORAMENTO	11
3.4	MODELOS HIDROLÓGICOS	13
3.4.1	<i>Modelos</i>	13
3.4.2	<i>HYCYMODEL</i>	15
<b>4</b>	<b>MATERIAL E METODOS</b>	<b>17</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO	17
4.2	LEVANTAMENTO AMBIENTAL	18
4.3	INSTALAÇÃO DA CALHA PARSHALL	20
4.4	MONITORAMENTO EM CAMPO	21
4.5	TEORIA DO MODELO HYCYMODEL	22
4.6	CALIBRAÇÃO	25
<b>5</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO</b>	<b>27</b>
5.1	DADOS DE CHUVA E VAZÃO MONITORADOS	27
5.2	ANÁLISE DE RECESSÃO DO ESCOAMENTO DE BASE	30
5.3	SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA	35

5.4	CURVA DE PERMANÊNCIA .....	36
5.5	APLICAÇÃO DO MODELO HYCYMODEL .....	37
5.6	VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO EM UM CURTO INTERVALO DE TEMPO .....	40
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXO 1 CALHA PARSHALL .....</b>	<b>53</b>
A.1.1.	– DIMENSIONAMENTO DA CALHA PARSHALL .....	53
A.1.2	- ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA .....	53
A.1.3	- USANDO A EQUAÇÃO DE INTENSIDADE MÁXIMA DE CHUVA PARA A BACIA DO PINUS .....	53
A.1.4	CALHA PARSHALL .....	54
	<b>ANEXO 2 CÓDIGO HYCYMODEL .....</b>	<b>58</b>
	<b>ANEXO 3 DADOS MEDIDOS NO TRABALHO .....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 CICLO HIDROLÓGICO (FONTE: SILVEIRA (1997)) .....	6
FIGURA 4.1 MAPA DA FAZENDA PIZZATO CONTENDO A BACIA DO PINUS .....	17
FIGURA 4.2 ESQUEMA CONTENDO A DELIMITAÇÃO DA BACIA DO PINUS. ....	19
FIGURA 4.3 MAPA DE SOLOS DA BACIA DO PINUS.....	20
FIGURA 4.4 VISTA DA CALHA PARSHALL INSTALADA NA BACIA DO PINUS (A) – DURANTE A INSTALAÇÃO, (B) - INSTALADO .....	22
FIGURA 4.5 FLUXOGRAMA DO MODELO HYCYMODEL APRESENTADO POR FUKUSHIMA (1988).....	24
FIGURA 5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO PINUS E DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IRATIN .....	27
FIGURA 5.2 HIETOGRAMA E HIDROGRAMA MONITORADOS NA BACIA DO PINUS .....	28
FIGURA 5.3 CURVA DE RECESSÃO NO PERÍODO ENTRE 11/04/01 A 19/04/01.....	30
FIGURA 5.4 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE A VAZÃO INICIAL NA RECESSÃO E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ ).....	32
FIGURA 5.5 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DA VAZÃO MÉDIA NA FASE DE RECESSÃO E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ ). ....	32
FIGURA 5.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ ).....	33
FIGURA 5.7 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E A VAZÃO INICIAL ( $Q_1$ ).....	34
FIGURA 5.8 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E A VAZÃO MÉDIA ( $Q_{MÉDIO}$ ).....	34
FIGURA 5.9 SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA NO MÊS DE SETEMBRO DE 2000 COM O MÉTODO DE HEWLETT E HIBBERT (1967).....	35
FIGURA 5.10 CURVA DE PERMANÊNCIA DA VAZÃO DETERMINADA NA BACIA DO PINUS .....	37
FIGURA 5.11 HIDROGRAMAS COM VAZÃO OBSERVADA ( $Q_{OBS}$ ) E VAZÃO CALCULADA ( $Q_C$ ) COM O MODELO HYCYMODEL NA BACIA DO PINUS. ....	38
FIGURA 5.12 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DE VAZÃO OBSERVADA E SIMULADA NO MODELO HYCYMODEL .....	39
FIGURA 5.13 SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA EM ESCOAMENTO DE BASE ( $Q_b$ ) E ESCOAMENTO TOTAL ( $Q_T$ ) EM MM/DIA .....	40

FIGURA 5.14 VARIAÇÃO HORÁRIA DA VAZÃO: (A) NO PERÍODO DE 03 A 04/06/00; (B) NO PERÍODO DE 03 A 04/08/01.....	41
FIGURA A1.1 ESQUEMA DE UMA CALHA PARSHALL.....	55

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL DE FLORESTAS TROPICAIS .....	9
TABELA 4-1 VALORES DOS PARÂMETROS OBTIDOS POR FUKUSHIMA (1988).....	26
TABELA 5-1 BALANÇO HÍDRICO MENSAL DAS QUATRO ESTAÇÕES: INVERNO(A); PRIMAVERA(B); VERÃO(C) E OUTONO(D).....	29
TABELA 5-2 INTERVALO DE ESTIAGEM E EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE OS REPRESENTAM DURANTE UM ANO DE MONITORAMENTO. ....	31
TABELA 5-3 SEPARAÇÃO DE HIDROGRAMA COM O MÉTODO DE HEWLETT E HIBBERT (1967).....	35
TABELA 5-4 PERMANÊNCIA DA VAZÃO NA BACIA DO PINUS. ....	36
TABELA 5-5 PARÂMETROS AJUSTADOS NAS SIMULAÇÕES COM O MODELO HYCYMODEL .....	38
TABELA 5-6 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS OBTIDOS PARA A VAZÃO HORÁRIA MEDIDA EM DOIS PERÍODOS.....	42
TABELA A1.1 DIMENSÕES PADRONIZADAS DE MEDIDORES PARSHALL (CM).....	56
TABELA A1.2 LIMITE DE APLICAÇÃO PARA MEDIDORES PARSHALL COM ESCOAMENTO LIVRE .....	57
TABELA A3.1 PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NA BACIA DO PINUS EM MM DURANTE O PERÍODO DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001 .....	63
TABELA A3.2 VAZÃO OBSERVADA NA BACIA DO PINUS EM MM/DIA DURANTE O PERÍODO DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001 .....	64
TABELA A3.3 PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (MM) DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001, MEDIDA NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE IRATIN (SUDERHSA).....	65



**RESUMO: Estudo hidrológico de uma pequena bacia hidrográfica experimental no município de General Carneiro-PR, através de monitoramento e modelagem.**

Para atingir um bom nível de manutenção e preservação dos mananciais, é necessário o planejamento, gerenciamento e uso adequado dos recursos hídricos para diminuir o problema tanto da escassez como excesso de água. Para entender melhor o ciclo hidrológico na região de General Carneiro – PR, o presente trabalho estabeleceu uma pequena bacia hidrográfica experimental, denominada Bacia do Pinus, possuindo uma área de 18,12ha, onde foi instalado um pluviômetro e um dispositivo medidor de vazão (calha Parshall). Entre os meses de julho de 2000 e junho de 2001, realizou-se um monitoramento diário, medindo-se os valores de chuva e vazão. Com os dados coletados, iniciou-se a calibração e simulação dos processos de chuva-vazão no modelo HYCYMODEL. Os resultados mostraram que os dados pluviométricos devem ser obtidos na própria bacia monitorada, pois a correlação com os dados da estação meteorológica de Iratim foi baixa ( $R^2 = 0,2437$ ). A relação ET/R no verão foi consideravelmente maior (43,79%) comparada as relações ET/R obtida em outras estações do ano (entre 22,16% e 31,86%). O escoamento de base na bacia apresentou valores 87% a 99% do escoamento total durante o ano, com exceção do mês de setembro que foi de 63%. A água subsuperficial foi o maior contribuinte no escoamento total. Apesar de subestimar a baixa vazão e superestimar a vazão alta, o modelo HYCYMODEL apresentou um bom ajuste e o coeficiente de determinação obtido entre as vazões observadas e calculadas foi igual a 0,7119.

**ABSTRACT: Hydrological study of a small experimental catchment in General Carneiro municipal – PR, through monitoring and modeling**

To have a good level of maintenance and preservation of the springs, the adequate management of water resources to reduce problems such as the shortage and excess of water is necessary. To understand the hydrologic cycle more in General Carneiro municipal, Paraná State, the present study established a small experimental catchment (18.12ha) which is called Pinus catchment. In the catchment, a rain-gauge and a Parshall flume were installed. In the period from July, 2000 to June, 2001, a daily observation of rainfall and discharge was carried out. With the observed data, the calibration and simulation of the HYCYMODEL was done for rainfall-runoff processes. The results showed that the rainfall data should be obtained in the catchment itself. The ratio of the evapotranspiration (ET) on rainfall (R) in the summer was considerably larger (43,79%) than that in the other seasons (between 22,16% and 31,86%). The base flow was 87% to 99% of the total runoff during the year, except in September (63%). It indicates that the subsurface water was the largest contributor to the total runoff. Even though it underestimated the low discharge and overestimated the high one, the HYCYMODEL presented a good adjustment.

**Key-words:** experimental catchment, hydrological monitoring, HYCYMODEL

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são de importância econômica e estratégica para o desenvolvimento regional. O problema da escassez e excesso de água vêm se agravando ao longo do tempo e o estudo das bacias hidrográficas por meio de monitoramento e modelagem torna-se essencial para o planejamento, gerenciamento e uso deste recurso.

Não somente a falta de água com qualidade de uso, mas também o seu excesso tem causado grandes problemas. Regiões urbanizadas vêm sofrendo freqüentemente com enchentes provenientes da falta de planejamento e de estudos que levem em consideração o impacto ambiental devido à utilização dos recursos hídricos disponíveis. Como o processo de urbanização ocupa cada vez mais as bacias de drenagem, torna-se fundamental o levantamento de dados que possibilitem a realização de estudos para prever a ocorrência de eventos hidrológicos.

As bacias hidrográficas são bastante vulneráveis à alterações da vegetação, que por sua vez podem interferir nas propriedades biológicas, químicas e físicas do solo, refletindo consecutivamente na qualidade e quantidade da água dos rios, o que é de fundamental importância para a sustentabilidade e preservação do ambiente. No entanto, para atingir um nível desejado de manutenção e preservação dos recursos hídricos, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados ao monitoramento dos diversos componentes do ciclo hidrológico. Contudo, devido ao grande número de variáveis envolvidas e da ocorrência dos eventos em proporções globais, o estudo dos processos hidrológicos não é uma atividade simples. Uma técnica simplificada que comumente tem sido realizada em alguns trabalhos científicos consiste na coleta de dados de entrada (chuva) e saída (vazão) em estações hidrometeorológicas convenientemente assentadas dentro das bacias hidrográficas.

Os espaços geográficos ideais para o estudo dos processos hidrológicos são as bacias hidrográficas, onde se consegue medir as entradas e as saídas de água com aparelhos específicos. Como no Brasil utiliza-se principalmente a água superficial, os

estudos das vazões de saída das bacias contribuem para reconhecer a qualidade e a disponibilidade da água para as diversas finalidades de uso.

O estudo de bacias representativas de uma determinada região, bem como as instalações de equipamentos para o seu monitoramento (processo chuva-vazão) são importantes sob vários aspectos. O conhecimento dos processos hidrológicos torna-se útil para diferentes áreas de atuação, como por exemplo: ao agrônomo interessa a precipitação, infiltração e a evaporação, que são elementos necessários para controlar e manejar a água na produção agrícola; o geólogo está mais preocupado com a água do subsolo; e o engenheiro civil necessita de dados de chuva-vazão para o dimensionamento correto das obras de engenharia.

A maior parte das bacias hidrográficas, onde se faz a captação de água, localizam-se em áreas rurais. Estas bacias são normalmente caracterizadas por diferentes usos da terra, podendo conter atividades agrícolas, pastoris, florestais, áreas de preservação e mata nativa. Contudo, a maioria das bacias não apresenta um monitoramento voltado ao estudo ambiental e de gestão dos recursos hídricos, e é importante a obtenção de dados para estes locais. É importante observar ainda, que não é suficiente dispor-se apenas de dados, é preciso que os mesmos sejam confiáveis e tenham qualidade, o que implica na necessidade de utilização de aparelhos e métodos adequados.

A vegetação da região sul do Estado do Paraná caracterizava-se por uma Floresta de Araucária, mas atualmente a região é predominada principalmente por reflorestamento com *Pinus* sp. Embora exista a preocupação de preservar os mananciais, e haja a consciência que as atividades florestais influenciam na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos da região, ainda não foi realizado nenhum estudo hidrológico relacionado a este assunto no local.

É de conhecimento que algumas empresas reflorestadoras também estão se dedicando a recuperar áreas rurais com plantios de araucária, já que o uso indiscriminado do solo vem levando a uma degradação ambiental. Como ainda não existe nenhum estudo que comprove se a floresta de araucária é melhor do que outras tipologias florestais, a recuperação que vem sendo feita pelas empresas reflorestadoras

poderá afetar diretamente o ciclo hidrológico, alterando a quantidade e a qualidade da água dos rios.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar o processo chuva-vazão em uma pequena bacia hidrográfica parcialmente desmatada, através de monitoramento e modelagem. A pequena bacia localiza-se dentro da Bacia do Rio Iguaçu e pertence a Fazenda Pizzatto no Município de General Carneiro-PR.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estabelecer uma pequena bacia hidrográfica experimental com instalação de uma calha Parshal;
- Levantar as características ambientais da bacia;
- Monitorar a chuva e a vazão da bacia;
- Aplicar o modelo matemático HYCYMODEL para simular o processo chuva-vazão monitorado;
- Analisar o processo chuva-vazão e o balanço hídrico.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CICLO HIDROLÓGICO

##### 3.1.1 Considerações gerais

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na fauna e flora, e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. Segundo *United States Federal Council of Science and Technology* citado por TUCCI (1997), "a hidrologia é a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas relações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida."

Para SILVEIRA e TUCCI (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre.

O ciclo hidrológico, que é tema principal da hidrologia, envolve diversos processos hidrológicos. A condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação são exemplos de processos verticais, o escoamento superficial e subsuperficial são exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999). Autores como KIRKBY (1978), CHOW et al. (1988), ANDERSON e BURT (1990) e BLACK (1996), apresentaram o ciclo hidrológico levando-se em consideração diferentes aspectos. Na Figura 3.1, encontra-se o ciclo hidrológico apresentado por SILVEIRA (1997).

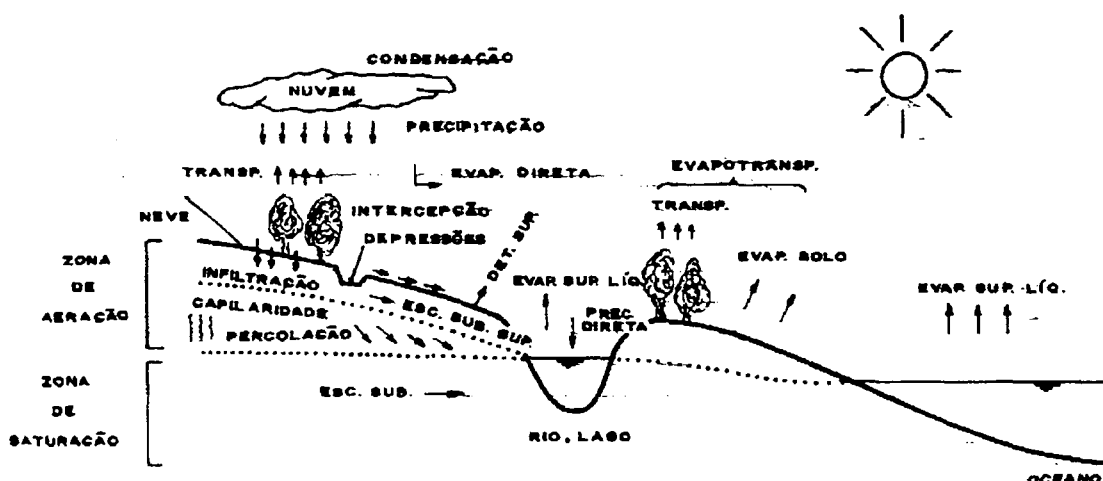


FIGURA 3.1 CICLO HIDROLÓGICO (FONTE: SILVEIRA (1997)).

Segundo RAMOS (1989), o ciclo hidrológico é global, e constitui um sistema fechado com armazenamento de água nos rios e lagos, nos oceanos e na atmosfera.

Para melhor compreensão do ciclo hidrológico VILLELA e MATTOS (1975) o visualizaram como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersada de várias formas. Uma parte fica temporariamente retida na camada superficial do solo e retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Outra parte da água restante escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, e o restante penetra profundamente no solo e vai suprir a água subterrânea.

É importante observar que em algumas publicações feitas por geógrafos e engenheiros florestais enfatizam diferentes partes do ciclo hidrológico, tais como a evapotranspiração, interceptação, infiltração, percolação entre outros. Os livros da engenharia civil discutem mais a resposta da chuva-vazão, e isso se deve aos diferentes interesses profissionais.



### 3.1.2 Hidrograma

O hidrograma é uma série temporal da vazão. A vazão, normalmente é considerada como o conjunto de três componentes, isto é, o escoamento direto (ou superficial), o escoamento subsuperficial (*interflow* e *throughflow*) e o escoamento subterrâneo (KAYANE, 1980).

Em relação aos detalhes do processo, cada vez mais o escoamento subsuperficial vem chamando a atenção dos pesquisadores, devido a sua influência no escoamento total tanto na hidrologia quanto na geomorfologia (DUNNE, 1990).

FREEZE (1972) comenta que o escoamento de base pode ser variável de acordo com diferentes tipos de rochas. RICE e BRICKER (1995) mencionaram que a quantidade do escoamento de base também depende do nível do lençol freático e da condição do aquífero. Este fenômeno foi confirmado por KOMATSU e ONDA (1996).

Geralmente o hidrograma é dividido em três partes: escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo. BARNES (1939) apresentou um método gráfico que possibilita distinguir as características de recessão e determinar o valor da constante de recessão para cada componente do hidrograma. ANDERSON e BURT (1980) comentam que o uso do gráfico semilogarítmico vem sendo uma técnica comum na hidrologia. TODD (1959) notou que o valor da constante de recessão depende das características da bacia e que a variabilidades entre elas resulta da natureza dos fluxos de recessão produzidos.

Explicando a importância do estudo de recessão no escoamento de base, HALL (1968) realizou uma revisão sobre o assunto, enfatizando o aspecto matemático e sua aplicação. Esta revisão foi incrementada por APPLEBY (1970).

A curva de permanência ou duração, é uma curva de frequência que apresenta a porcentagem de tempo onde as vazões se mantêm iguais ou superiores a um valor determinado (VILLELA e MATTOS, 1975). A curva de permanência é considerada uma das técnicas de análise bastante útil para caracterizar a tendência da vazão no rio ao longo do tempo (ARCOVA e CICCIO, 1997).

Segundo ARCOVA e CICCIO (1997) uma curva de permanência com uma inclinação acentuada reflete uma alta contribuição do escoamento direto. Ao contrário, no caso da inclinação suave, ocorre alta contribuição do escoamento de base. Os autores mostraram, que o escoamento de base foi o principal componente da vazão para aproximadamente 90% do tempo na curva de permanência em duas bacias experimentais na Serra do Mar.

HEWLETT e HIBBERT (1967) propuseram um método simples de separação do hidrograma com uma linha inclinada de  $0,55 \text{ L.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ . O método foi utilizado com sucesso por HARR (1977), BONELL (1993), BIDIN e GREER (1997), TSUJIMURA et al. (2001), entre outros.

### 3.1.3 Evapotranspiração

Segundo ROBERTS (1983) a evapotranspiração, que pode ser considerada como uma das formas de perda da água na bacia hidrográfica, consiste em duas componentes: processo de interceptação e transpiração.

Muitos trabalhos, como de CALDER (1976 e 1977), GASH e STEWART (1977) e STEWART (1977), mostraram que a perda da água pela interceptação é mais importante na determinação da vazão da bacia com floresta do que outra cobertura vegetal. Dessa maneira, a interceptação tem recebido considerável atenção, e conseqüentemente a compreensão do seu mecanismo foi melhor estudado. RUTTER et al. (1971) formularam um modelo do processo, e foi considerado um grande avanço. Posteriormente o modelo foi simplificado por GASH (1979), e a aplicabilidade da nova versão foi comprovado por estudos como o de PEARCE e ROWE (1981).

A transpiração é influenciada por inúmeros fatores tais como o clima, idade e espécie da planta, umidade do solo, entre outros fatores que geram uma grande variação espacial na mesma (ROBERTS, 1983). Os diversos fatores dificultam a medição e estimativa da transpiração florestal.

Estudos realizados por BRUIJZEEL (1990), ARCOVA et al. (1998a) mostraram uma grande amplitude de valores da evapotranspiração para florestas

tropicais, quando fizeram o balanço hídrico de duas pequenas bacias na Serra do Mar. A Tabela 3.1. apresenta os resultados obtidos pelos dois autores.

TABELA 3-1 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL DE FLORESTAS TROPICAIS

Local	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)
Floresta de baixa altitude		
*Reserva Ducke, Brasil	2648	1311
*Grégoire II, G. Francesa	3697	1437
*Barro Colorado, Panamá	2425	1440
*Tai II, Ivory Coast	1986	1363
*Babinda, Austrália	4037	1421
*Tonka, Suriname	2143	1630
Floresta de montanha		
*Sierra Nevada, Colômbia	1983	1265
*San Eusebio, Venezuela	1576	980
*Kericho, Kenya	2130	1337
*Perinet, Madagascar	2081	1295
*Mbeya, Tanzânia	1924	1381
**Serra do Mar B, Brasil	2013	540
**Serra do Mar D, Brasil	2159	604

Fonte: \*BRUIJNZEEL (1990) e \*\*ARCOVA et al. (1998a).

### 3.2 EFEITO DO REFLORESTAMENTO E DESMATAMENTO

O ecossistema florestal, constituído por parte aérea (árvores) e parte terrestre (solos florestais), desempenha inúmeras funções: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade), (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios), (3) controle de erosão, (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio, (5) atenuação da poluição atmosférica, (6) fornecimento do oxigênio ( $O_2$ ) e absorção do gás carbônico ( $CO_2$ ), (7) prevenção contra ação do vento e ruídos, (8) recreação e educação, (9) produção de biomassa e (10) fornecimento de energia. Todas as funções atuam simultaneamente, sendo a maioria baseada na atividade biológica da própria floresta (KOBAYAMA, 2000).

Segundo LIMA (1996) plantações florestais, ou seja, a formação de florestas a partir de regeneração artificial, tem sido estabelecida desde há muito tempo na América do Norte e na Europa com o propósito de fornecer madeira para fins industriais. Dessa forma, estão assumindo cada vez mais a importante missão de suprimento de madeira para fins industriais e para geração de energia, comparativamente às florestas naturais, já escassas e em geral ocupando áreas onde sua presença é muito mais importante para fins de conservação ambiental.

Na região sul do país, onde a maior parte da cobertura florestal natural desapareceu e onde se concentra a maior parte da demanda industrial de madeira, FRANCO (1989) apresentou uma análise da situação no Estado de Santa Catarina, e demonstrou que estava havendo o corte anual de 1000 quilômetros quadrados de florestas, para uma cobertura florestal remanescente de 30000 quilômetros quadrados.

Para LIMA (1996), em plantações industriais durante o preparo do solo e período de crescimento das mudas, o solo permanece praticamente sem proteção. O regime de corte raso ao final do período de rotação, são fatores que também podem resultar em perdas consideráveis de solo por erosão. As perdas de solo e de nutrientes prejudicam tanto a qualidade da água quanto a manutenção da produtividade. Dessa forma, é muito importante o manejo adequado das plantações florestais.

Efeitos de reflorestamento e desmatamento nos processos hidrológicos vêm sendo investigados desde 1910 com uso de bacias experimentais (TRIMBLE et al., 1987). McCULLOCH e ROBINSON (1993) mencionaram que tradicionalmente utiliza-se uma ou duas bacias na análise. No caso do uso de apenas uma bacia experimental é necessário um período de calibração.

Na hidrologia, há o consenso geral indicando que, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão total no rio (HIBBERT, 1967; BOSCH e HEWLETT, 1982). Segundo TRIMBLE et al. (1987), a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas ocorre por causa do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração (interceptação + transpiração), e a redução é maior nos anos secos do que nos anos chuvosos.

Usando dados obtidos de 145 bacias experimentais, SAHIN e HALL (1996) avaliaram os efeitos do reflorestamento e desmatamento no processo chuva-vazão através de técnicas de análises de regressão linear e regressão linear *fuzzy*. Os resultados obtidos confirmaram a teoria genérica de que o aumento da floresta reduz a vazão.

Os parágrafos anteriores mencionaram sobre a relação entre a vazão total e a floresta, mas também é importante analisar o efeito da floresta no escoamento de base. Usando o método proposto por NATHAN e McMAHON (1990), LACEY e GRAYSON (1998) estimaram os valores de escoamento de base de 114 bacias experimentais em Vitória, Austrália, e mostraram que não foi evidente a influência do crescimento da floresta no escoamento de base.

Estudos hidrológicos com uso de bacias experimentais, especialmente de pequena escala, tem contribuído bastante na hidrologia. Entretanto, PILGRIM et al. (1982) questionam se os resultados obtidos em pequenas bacias podem ser transferidos para grandes bacias.

SAVENIJE (1995) mostrou que em áreas semi-áridas a remoção da vegetação reduz a evaporação e pode ocorrer até a redução da precipitação.

### 3.3 BACIAS EXPERIMENTAIS PARA MONITORAMENTO

O MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1987) definiu que a microbacia é “uma área fisiográfica drenada por um curso da água ou por um sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho da água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente por ela definido”. Embora a definição seja correta, não foi indicado o termo “micro”. Termos como “microbacia” e “bacia”, são utilizados mas não existe uma definição que possa diferenciá-los.

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Considera-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e também os infiltrados profundamente. Segundo SILVEIRA (1997), em um evento

isolado pode-se desconsiderar as perdas por evaporação, transpiração e infiltração, e analisar a transformação de chuva em vazão feita pela bacia. Além disso, a bacia contém de um lado a noção topográfica de divisor de água, e de outro lado, a noção da área de interceptação das precipitações (CHEVALLIER, 1993).

Segundo CHEVALLIER (1993) é muito raro encontrar uma série de dados pluviométricos ou pluviográficos confiáveis, uma vez que isso requer conhecimentos dos métodos empregados nos aparelhos usados, dos lugares de instalação e das limitações dos observadores. Na medição da vazão, o conhecimento direto da descarga em um dado instante não é possível na prática, por isso estabelece-se uma relação da altura do nível da água com a vazão (curva chave), e a partir daí, mede-se apenas a altura das cotas.

Os aparelhos freqüentemente utilizados na medição da precipitação nas estações pluviométricas no Paraná são, o pluviógrafo e o pluviômetro (SUDERHSA, 1997). Para a medição da vazão em pequenas bacias hidrográficas vem-se generalizando o uso de medidores de regime crítico tipo calha Parshall e Vertedores (SILVEIRA & TUCCI, 1997).

Existem muitas bacias hidrográficas experimentais para conhecer os processos hidrológicos do local. No caso do Paraná, as bacias experimentais foram instaladas a fim de estudos hidroelétricos (SUGAI et al., 1998). Entretanto, pequenas bacias que comumente se chamam “microbacia” experimentais, vêm sendo instaladas com a finalidade de avaliar o uso da terra, contendo floresta, agricultura, pasto, entre outros.

Para avaliar o efeito do uso da terra sobre a vazão em pequenas bacias experimentais, é indispensável o estabelecimento das relações entre a vazão e outras variáveis hidrológicas das bacias (ARCOVA et al., 1998b). Este procedimento é definido como calibração, e a relação é determinada durante um período que antecede ao tratamento experimental a ser implementado (SWINDEL e DOUGLAS, 1984). Segundo GOLDING (1980), existem três métodos de calibração, isto é, o método das bacias pareadas, o método da calibração de uma única bacia usando dados climáticos, e o método da curva de dupla massa.

### 3.4 MODELOS HIDROLÓGICOS

#### 3.4.1 Modelos

Segundo KOBİYAMA e MANFROI (1999), a observação ou medição contínua de processos hidrológicos denomina-se monitoramento. Os resultados obtidos em um monitoramento possibilitam ou auxiliam na modelagem. Entretanto, os fenômenos naturais são de grande complexidade, dificultando estudos para sua compreensão, pela impossibilidade de medir e percorrer todas as suas partes e/ou etapas. Para uma abordagem básica dos fenômenos naturais, apenas para compreendê-los fisicamente e de forma genérica, torna-se necessária a utilização de leis empíricas e de hipóteses, o que requer a aplicação da modelagem. Desta forma verifica-se que para estudar os fenômenos naturais, precisa-se ter modelos.

O modelo é uma apresentação do sistema (ou objeto) tanto estático quanto dinâmico, podendo ser classificado em dois tipos: (1) modelo físico e (2) modelo matemático (analítico ou numérico). Correspondendo a isso, há dois tipos de modelagem: (1) modelagem física e (2) modelagem matemática. O modelo numérico possui várias vantagens, como: facilidade de execução, baixo custo, rápida obtenção dos resultados, permitindo a simulação de experimentos inviáveis na prática. Isso facilita a previsão dos fenômenos e processos naturais, possibilitando assim, a elaboração do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). O uso de modelos do tipo numérico está sendo incrementado pelo desenvolvimento da técnica computacional, permitindo sofisticções (KOBİYAMA e MANFROI, 1999).

Para estudos hidrológicos em bacias hidrográficas, KOBİYAMA e MANFROI (1999) comentam que a modelagem e o monitoramento não se confrontam, sendo métodos científicos mutuamente complementares, efetuados sempre em conjunto.

Os modelos hidrológicos, que são normalmente matemáticos podem ser classificados de diversas maneiras, conforme a: distribuição dos parâmetros utilizados (distribuídos), base física (conceitual), linearidade, número de componentes, determinação do valor, entre outros.

O método racional é um exemplo de modelo simples que foi criado no século XIX. Embora o método calcule apenas a vazão máxima de uma bacia, ele ainda é o método mais utilizado para dimensionamento de obras de enchente (LINSLEY, 1986).

Como foi mencionado anteriormente, os modelos podem ser classificados em concentrados (*lumped*) e distribuídos. Nos modelos concentrados, as variáveis são consideradas homogêneas no sistema. Nos modelos distribuídos as variáveis são consideradas como funções de cada espaço, sendo que os processos hidrológicos ocorrem em diversos pontos (ou áreas) dentro do sistema. Com avanço da tecnologia, especialmente na área de geoprocessamento, vários modelos distribuídos vêm sendo propostos, como exemplo pode-se citar o modelo TOPMODEL (BEVEN, 1997) e TOPOG (O'LOUGHLIN, 1986).

Existe uma maneira de classificar modelos em base física (conceitual) e não-física (empírica). O modelo empírico corresponde ao modelo de caixa preta (*black box*), enquanto o modelo físico, de caixa branca (*white Box*). Entretanto, HINO (1989) não concorda e faz críticas a classificação mencionada. Segundo o autor, qualquer modelo simples baseia-se na física, quando o modelo ajusta-se bem aos processos de chuva-vazão. Sem base física, é impossível um modelo simular os processos hidrológicos.

O conceito de linearidade também é usado para classificação dos modelos. Os processos hidrológicos são fortemente não-lineares, e sendo assim, os modelos não lineares podem ser melhores que os lineares. Entretanto, modelos lineares tais como o método de hidrograma unitário (SHERMAN, 1932) e o modelo de Stanford (CRAWFOLD e LINSLEY, 1962), também podem realizar bom ajuste com fenômenos hidrológicos monitorados.

O fato de a vazão total possuir vários componentes (vários tipos de escoamentos) é necessário a separação dos seus componentes em um hidrograma. No caso de modelos uni-componente, por exemplo no método de hidrograma unitário (SHERMAN, 1932), não é possível estimar cada um dos componentes da vazão, entretanto, isso é possível utilizando modelos de multi-componentes, tais como o



modelo de tanque (SUGAWARA, 1961 e SUGAWARA et al., 1983) e o modelo auto-regressivo de separação de filtro (HINO e HASEBE, 1981, 1984, 1986).

Nas simulações hidrológicas que consideram variáveis como o tempo e espaço, e que introduz conceitos probabilísticos, são denominados estocásticos (um valor de entrada que gera valores de saída ao acaso). Nos modelos onde a natureza probabilística não é considerada, são denominados modelos determinísticos, como um valor de entrada gerando sempre um mesmo valor de saída (CHOW, 1988).

### 3.4.2 HYCYMODEL

FUKUSHIMA e SUZUKI (1986) e FUKUSHIMA (1988) apresentaram o HYCYMODEL com base no monitoramento hidrológico de uma pequena bacia hidrográfica ( $0,0599 \text{ km}^2$ ) durante 10 anos no Japão. O modelo necessita de nove parâmetros e pode estimar a evaporação, transpiração, escoamento direto e de base, com intervalo de tempo diário ou horário. Pelas diversas classificações, o HYCYMODEL pode ser considerado como determinístico, concentrado, conceitual, de multi-componentes, e não linear.

Através de simulação do modelo HYCYMODEL, FUKUSHIMA (1987) verificou a influência da floresta sobre a vazão no período de 100 anos e mostrou esquematicamente a alteração nas taxas de evaporação, transpiração, e escoamentos direto e de base no contexto de balanço hidrológico.

FUKUSHIMA et al. (1988) fizeram comparação entre valores monitorados e simulados pelo HYCYMODEL nos processos chuva-vazão em uma bacia de floresta com área de  $0,237 \text{ km}^2$  e outra de grama com área de  $0,538 \text{ km}^2$ . Obtendo como resultado um bom desempenho na simulação, os autores concluíram que a porcentagem do escoamento direto sobre o escoamento total na bacia contendo grama foi maior.

Aplicando o modelo HYCYMODEL em duas bacias com diferentes geologias com área de  $0,7 \text{ km}^2$  e  $0,0406 \text{ km}^2$ , FUKUSHIMA et al. (1989) verificaram efeito da geologia sobre a hidrologia.

FUKUSHIMA et al. (1991) modificou o HYCYMODEL para adaptá-lo na condição glacial e aplicou a versão modificada em uma bacia na região de Nepal (333 km<sup>2</sup>), onde foi possível avaliar o efeito glacial.

KUBOTA et al. (1996) aplicaram o HYCYMODEL para quatro bacias (10,88 km<sup>2</sup>, 10,6 km<sup>2</sup>, 10,4 km<sup>2</sup>, e 90,6 km<sup>2</sup>) localizadas em áreas vulcânicas no Japão e na Indonésia, onde foi possível demonstrar a peculiaridade da região vulcânica. Usando a equação de PRIESTLY e TAYER (1972), TANAKA et al. (1998) aplicou o HYCYMODEL para três pequenas bacias chinesas (área média 0,1 km<sup>2</sup>) e obtiveram como resultado um bom ajuste.

Vários trabalhos vêm mostrando a aplicabilidade do modelo hidrológico para pequenas bacias, em diferentes condições climáticas, geológicas e vegetativa. Recentemente, MA et al. (1999) propuseram e mostraram a aplicabilidade de um modelo fazendo a combinação entre o modelo SVAT (*Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer*) criado por MA et al. (1998), e a versão modificada do HYCYMODEL. Em uma outra modificação, MA et al. (2000) inseriram o modelo SVAT-HYCYMODEL em um sistema de geoprocessamento para gerar um novo modelo distribuído para possibilitar a simulação do processo chuva-vazão em uma grande bacia (2.488.000 km<sup>2</sup>). Os autores obtiveram como resultado um bom ajuste do modelo.

ARIYAKANON (2000) reprogramou, com o auxílio do programa FORTRAN90, o modelo HYCYMODEL com o objetivo de determinar parâmetros de maneira objetiva (automática), e avaliou influência florestal na hidrologia com método de tendência paramétrica.

## 4 MATERIAL E METODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

No presente trabalho, foi escolhida uma pequena bacia hidrográfica pertencente à sub-bacia do rio Iratin, na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu (SUREHMA, 1991). A pequena bacia localiza-se dentro da Fazenda Pizzatto (Figura 4.1), no Município de General Carneiro, no Estado do Paraná, à 300 km sudoeste de Curitiba. Longitude: 50° 38'20"W, Latitude: 26° 23'57"S, Altitude: 800m.

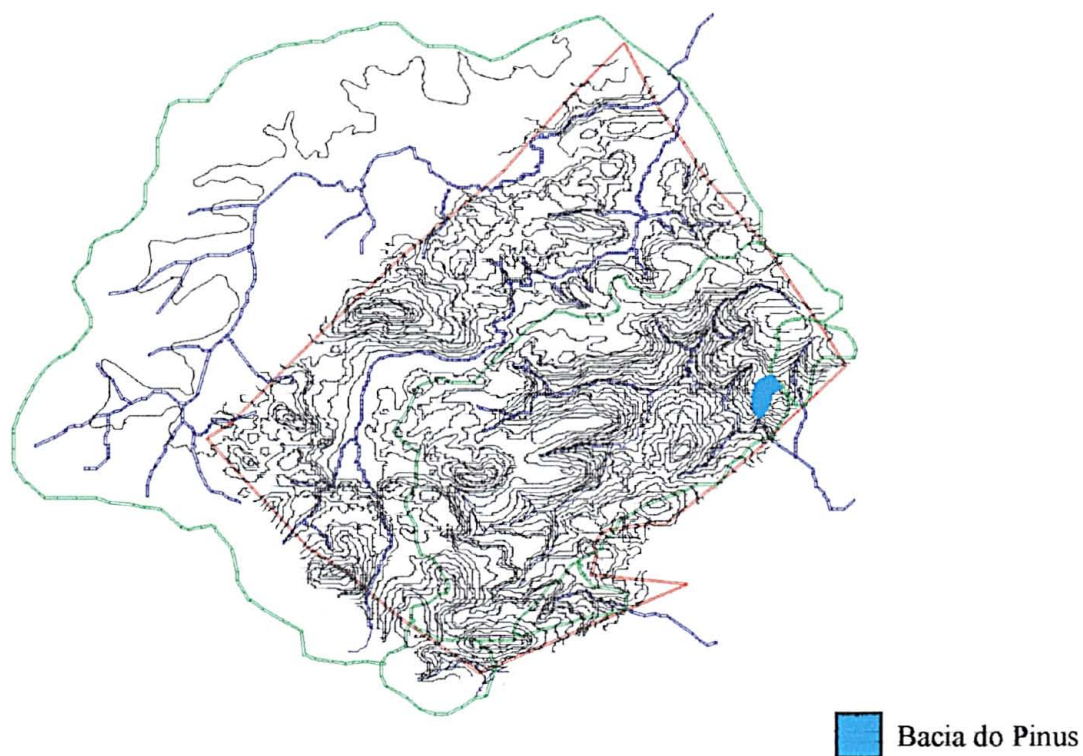


FIGURA 4.1 MAPA DA FAZENDA PIZZATO CONTENDO A BACIA DO PINUS

A bacia experimental escolhida consiste de uma área em atividade de reflorestamento e mede aproximadamente 18,12ha, sendo o seu rio de primeira ordem. A área já teve pinus com idade de 10 anos e as árvores foram cortadas no início do ano

2000. No mês de maio de 2000, foram plantadas mudas de araucária e imbuía na zona ripária.

De acordo com a Região Bioclimática do Estado do Paraná, o município de General Carneiro fica na Região 1, onde a altitude varia de 650 a 1100m. A temperatura média varia entre 15°C e 19°C e as menores temperaturas mínimas varia entre -5°C e -10°C. A precipitação anual fica entre 1250mm e 2500mm, com distribuição uniforme ou intermediária sem déficit hídrico (EMBRAPA, 1986).

Segundo MAACK (1968), o clima da região classifica-se segundo Köppen como Cfb– clima subtropical, superúmido, mesotérmico, com verões frescos e geadas severas demasiadamente freqüentes, sem estação seca.

Na região em estudo existe a estação meteorológica do SUDERHSA (Iratin, código da estação 02651026, latitude 26°29' S, longitude 51°25' W, altitude 1250m), cujos dados de precipitação foram comparados com os dados monitorados no experimento, estão tabulados e se encontram na Tabela A3.3 do anexo 3.

Os motivos que levaram a escolha da pequena bacia dentro da Fazenda Pizzatto foram: (i) o fácil acesso ao local, (ii) a facilidade no monitoramento, (iii) o fato do divisor de águas ser bem definido, não sofrendo nem causando interferências de bacias vizinhas.

## 4.2 LEVANTAMENTO AMBIENTAL

Na Figura 4.2 está apresentado o mapa da bacia experimental escolhida e por conveniência adotou-se neste trabalho a denominação da área de “Bacia do Pinus”.

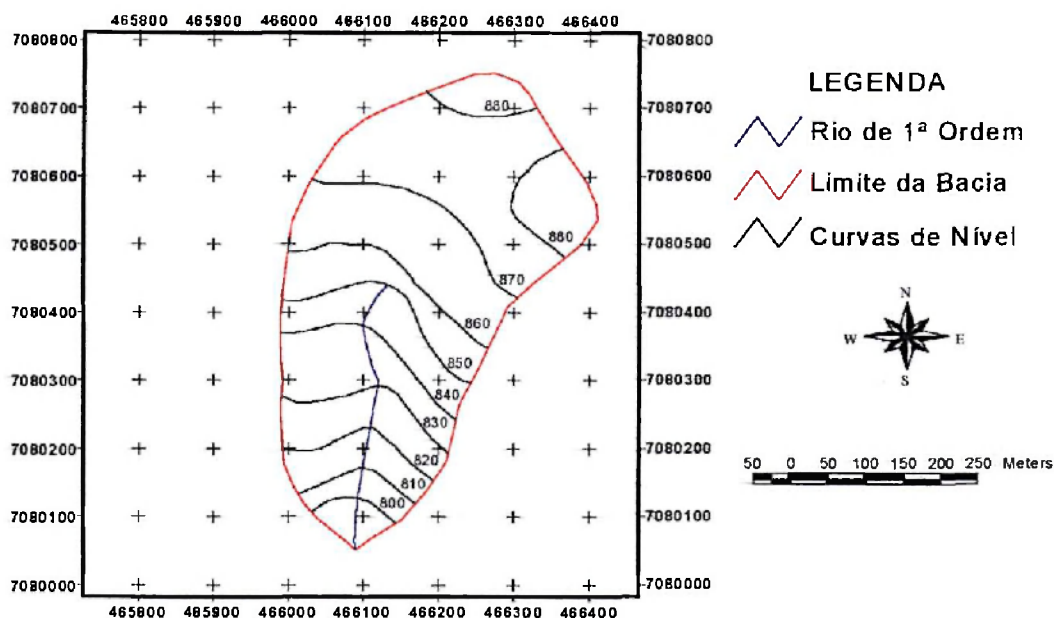


FIGURA 4.2 ESQUEMA CONTENDO A DELIMITAÇÃO DA BACIA DO PINUS.

Usando o mapa topográfico, o valor da declividade média da bacia foi calculado e ficou em 23%.

Segundo a classificação da EMBRAPA (1999), os solos da Bacia do Pinus são divididos em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, CAMBISSOLO HAPLICO Tb Distrófico e NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico (Figura 4.3).

A área de Latossolo está coberta com Floresta de Araucária. As demais áreas estavam cobertas com Pinus, mas no início do ano 2000 foram desmatadas, e apenas a zona ripária recebeu plantio de araucária e imbuíá.

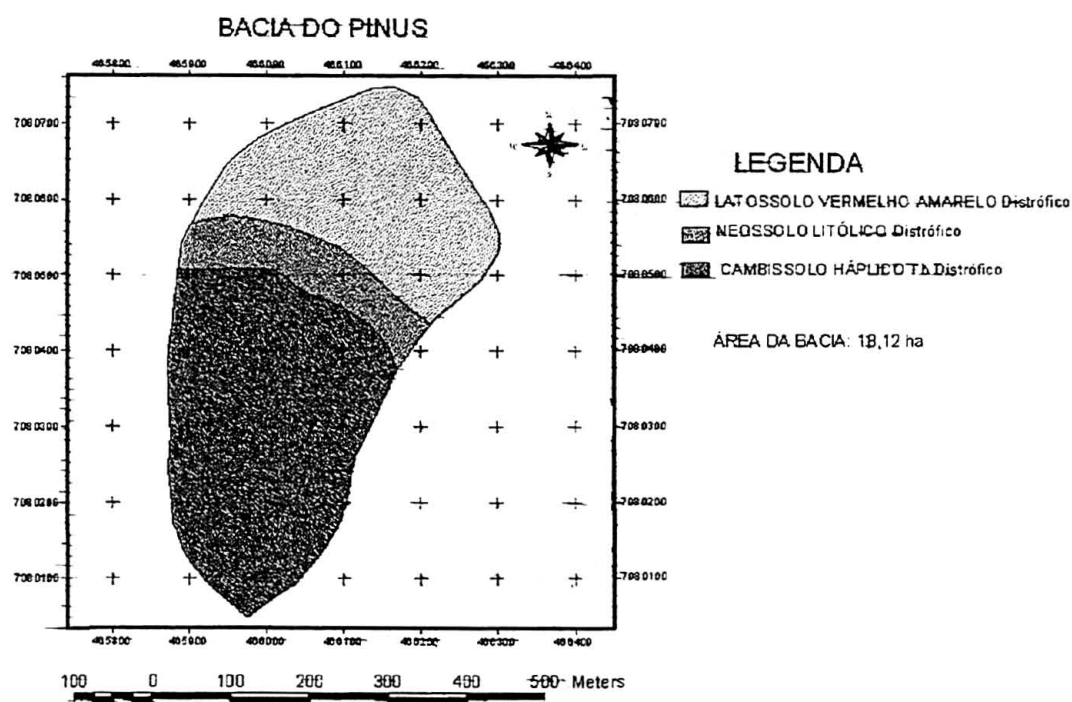


FIGURA 4.3 MAPA DE SOLOS DA BACIA DO PINUS

#### 4.3 INSTALAÇÃO DA CALHA PARSHALL

A calha Parshall foi o dispositivo utilizado para executar a medição da vazão do rio da Bacia do Pinus. Optou-se por construir uma calha robusta, feita de concreto armado, visto que o monitoramento deverá continuar nos próximos 20 anos, visando estudar a influência do desenvolvimento da floresta de pinus no processo chuva-vazão da bacia.

A utilização da calha Parshall possui uma série de vantagens, e dentre elas, pode-se mencionar: a sua fácil execução; medição única da coluna (carga) de água, o que pode ser feito por qualquer pessoa não necessitando de conhecimentos técnicos; e ausência de obstáculos capaz de provocar deposição dos materiais suspensos. Além disso, a calha Parshall tem uma vantagem ecológica em relação aos vertedouros, pois não oferece impedimento ao trânsito dos peixes.

A calha foi construído na sede (Fábrica Pedro Pizzatto) da Fazenda Pizzatto e posteriormente foi transportada ao local definitivo. Para fazer a instalação, o canal da Bacia do Pinus foi desviado e após o assentamento da calha fez-se o retorno do rio ao seu curso natural. Após a instalação da calha Parshall, observou-se um problema de perda de água sob a mesma, mas que foi facilmente solucionado fazendo a compactação do solo na entrada do medidor (Figura 4.4).

Quanto a robustez, verificou-se que após um ano de instalação sofrendo ação de intempéries a calha não apresentou nenhum problema estrutural, o que garante o seu uso nos próximos anos de monitoramento.

A vazão máxima de projeto da calha foi estimada pelo método racional, e o valor de  $W$  determinado no dimensionamento foi de 22,9cm. O cálculo detalhado do dimensionamento da calha Parshall está no ANEXO 1.

#### 4.4 MONITORAMENTO EM CAMPO

As medições da chuva e da altura da água foram realizadas diariamente às 8:00h da manhã, entre o período de 01 de julho de 2000 e 30 de junho de 2001. Para medir a precipitação, um pluviômetro foi instalado bem próximo ao local da calha Parshall.

A altura da água observada na calha foi transformada em vazão através da equação descrita por AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1991).

$$Q = 0,535H^{1,530} \quad (4.1)$$

onde:  $Q$  é a vazão em  $m^3/s$ ;  $H$  é a carga em metro.

Como a bacia experimental é pequena, a mudança da vazão em um curto intervalo de tempo pode existir, por isso a vazão foi observada de hora em hora, no período entre às 8:00h da manhã do dia 03 até 8:00h da manhã do dia 04 de junho de 2000.





(a)



(b)

FIGURA 4.4 VISTA DA CALHA PARSHALL INSTALADA NA BACIA DO PINUS (a) – DURANTE A INSTALAÇÃO, (b) - INSTALADO.

#### 4.5 TEORIA DO MODELO HYCYMODEL

O modelo HYCYMODEL é conceitual e possui mecanismos que permitem o armazenamento de dados quando a intenção é fazer a modelagem do escoamento, considerando a relação de linearidade e não linearidade entre chuva e vazão em seus



diversos subsistemas. A teoria do modelo pode ser encontrada com mais detalhe em FUKUSHIMA (1988).

O modelo HYCYMODEL consiste basicamente em expressar quantitativamente o ciclo hidrológico, podendo simular os hidrogramas em função da precipitação ocorrida. Sua estrutura é composta por 5 tanques que representam dois sistemas: de canal, e de encosta (Figura 4.5). Tanques retangulares implicam em fenômenos lineares e os tanques não-retangulares, abertos na parte superior, implicam em fenômenos não-lineares.

A precipitação  $R(t)$  é dividida em precipitação de canal  $R_c(t)$  e chuva grossa  $R_g(t)$ , com a taxa de área impermeável, ou seja, canal  $C$ , onde  $t$  é o tempo. O Tanque I representa o processo de interceptação que é definido a seguir:

$$R_n(t) = AG \cdot R_g(t) - AI \quad (4.2)$$

onde  $R_n(t)$  é a chuva líquida e  $AG$  e  $AI$  são os parâmetros da interceptação. A diferença entre  $R_n(t)$  e  $R_g(t)$  é a interceptação  $E_i(t)$ .

Define-se  $D_{16}$  e  $D_{50}$  como as profundidades efetivas do solo superficial em que as taxas de área de contribuição ao escoamento subsuperficial são 16% e 50%, respectivamente. Daí pode-se definir a chuva efetiva  $R_e(t)$  com o armazenamento do Tanque II, representado por  $S_u(t)$ . Então assume-se que a desvio padrão é:

$$\sigma = \log\left(\frac{D_{50}}{D_{16}}\right) \quad (4.3)$$

A variável  $\xi$  é:

$$\xi = \frac{\log\left\{\frac{[S_u(t-1) + R_n(t)]}{D_{50}}\right\}}{\sigma} \quad (4.4)$$

A taxa da área de contribuição  $m$  é:

$$m = \int_{-\infty}^{\xi} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right) d\xi \quad (4.5)$$

$$\text{Finalmente, } R_e(t) = m \cdot R_n(t) \quad (4.6)$$

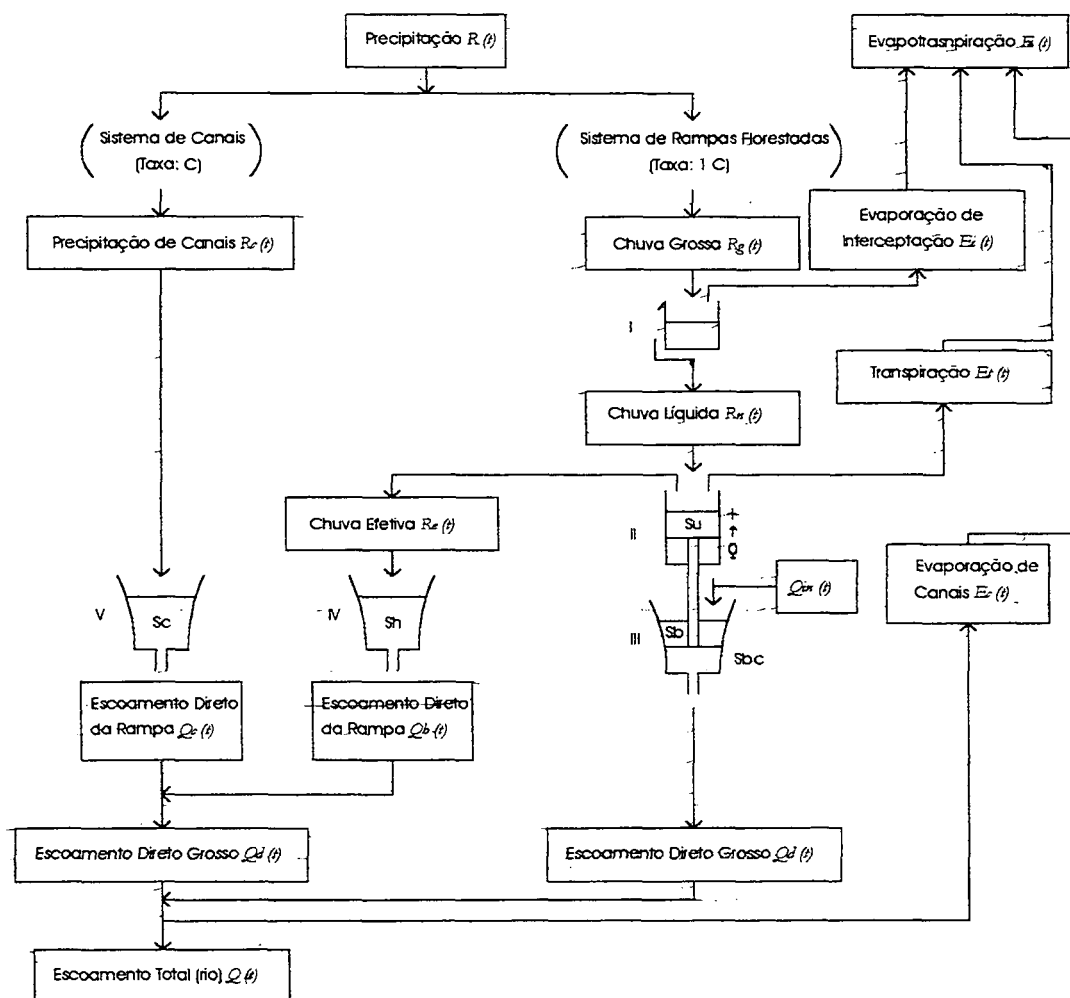


FIGURA 4.5 FLUXOGRAMA DO MODELO HYCYMODEL APRESENTADO POR FUKUSHIMA (1988).

O Tanque III é o sistema do escoamento da água subterrânea que calcula o escoamento de base  $Q_b(t)$ . O Tanque IV representa o sistema do escoamento subsuperficial que calcula o fluxo em encosta  $Q_h(t)$ . O Tanque V representa o sistema do escoamento em canal que calcula o escoamento direto de canal  $Q_c(t)$ . Nos Tanques II, III, IV e V, a relação entre o armazenamento  $S$  e a vazão  $Q$  é expressa como a função do armazenamento, ou seja:

$$S = KQ^P \quad (4.7)$$

onde  $K$  e  $P$  são parâmetros para a função de armazenamento. Para o Tanque II, III, IV e V, os parâmetros  $K$  e  $P$  são definidos como  $K_u$  e  $P_u$ ,  $K_b$  e  $P_b$ ,  $K_h$  e  $P_h$ ,  $K_c$  e  $P_c$ , respectivamente. Como os Tanques IV e V formam o escoamento direto, os valores de  $P_h$  e  $P_c$  são iguais a 0,6. Como o Tanque II possui o sistema linear, o valor de  $P_u$  é igual a 1,0.

A taxa de transpiração é definida como:

$$E_t(t) = \text{Delta}\{P_{ta} + P_{tb} \cdot \text{sen}[30^\circ - (I - IG)]\} \quad (4.8)$$

onde  $\text{Delta}$ ,  $P_{ta}$ ,  $P_{tb}$  e  $IG$  são parâmetros, e  $I$  é o número do mês (1 a 12) correspondendo aos meses de janeiro a dezembro. A transpiração durante a seca diminui quando o armazenamento do Tanque II fica menor que  $S_{bc}$ . A vazão crítica para a transpiração  $Q_{bc}$  corresponde ao  $S_{bc}$ . A soma de  $E_i(t)$ ,  $E_t(t)$  e evaporação do canal  $E_c(t)$  é igual a evapotranspiração  $E(t)$ .

O modelo utilizado está no anexo 2.

#### 4.6 CALIBRAÇÃO

A calibração foi realizada de maneira que possibilitasse fazer uma comparação entre as vazões calculadas ( $Q_{calc}$ ) no modelo, com as vazões medidas ( $Q_{obs}$ ) em campo. Para isso dois tipos de índice de erro foram implementados na estrutura do modelo:

$$F1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Q_{obs} - Q_{calc}|}{Q_{obs}}}{n} \quad (4.9)$$

onde  $n$  é o número de dias

$$F2 = \frac{\left| \sum_{i=1}^n Q_{obs} - \sum_{i=1}^n Q_{calc} \right|}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (4.10)$$

Através dos índices de erro avaliou-se o ajuste do modelo. O ajuste foi considerado melhor quando os valores de  $F1$  e  $F2$  aproximaram-se de zero, através da alteração dos parâmetros do modelo individualmente, isto é, análise de sensibilidade.

Os valores dos parâmetros para iniciar o ajuste (calibração) no presente experimento foram os mesmos utilizados por FUKUSHIMA (1988).

TABELA 4-1 VALORES DOS PARÂMETROS OBTIDOS POR FUKUSHIMA (1988)

PARÂMETROS	VALORES
C	0,035
J	2,0
D <sub>16</sub> mm	10
D <sub>50</sub> mm	50
K <sub>c</sub> mm <sup>2/5</sup> hr <sup>3/5</sup>	2
K <sub>h</sub> mm <sup>2/5</sup> hr <sup>3/5</sup>	10
K <sub>u, hr</sub>	21,7
P <sub>b</sub>	0,1
K <sub>b</sub> mm <sup>9/10</sup> hr <sup>1/10</sup>	808

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1 DADOS DE CHUVA E VAZÃO MONITORADOS

Os dados provenientes do monitoramento diário realizado na Bacia experimental de Pinus, precipitação e vazão, estão apresentados na Tabela A3.1 e A3.2 do ANEXO 3. Os dados foram levantados no período de 01 de julho de 2000 até 30 de junho de 2001.

Os dados de precipitação da Estação de Iratin e os monitorados na Bacia do Pinus, foram correlacionados (Figura 5.1). O resultado da análise de regressão linear ( $R^2 = 0,2437$ ) indica que os dados pluviométricos de Iratin não são adequados para o estudo da bacia. Isso vem confirmar a necessidade do monitoramento ser realizado na própria bacia.

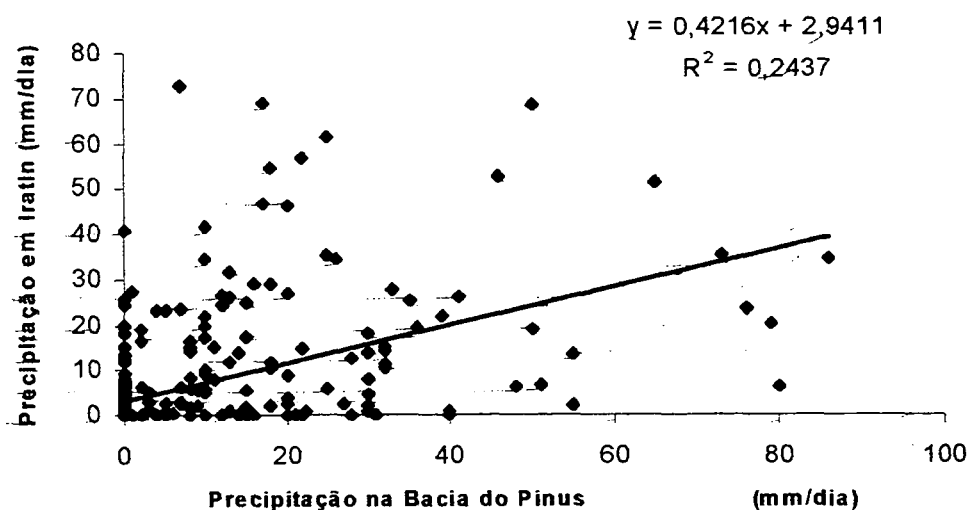


FIGURA 5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO PINUS E DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IRATIN.

A Figura 5.2 mostra os dados de chuva e vazão monitorados diariamente. Estes dados foram utilizados para a análise de balanço hídrico, e embora haja diversas formulações para o balanço hídrico, adotou-se uma fórmula mais simples:

$$R = ET + Q \quad (5.1)$$

onde  $R$  é a chuva em mm/dia,  $Q$  é a vazão mm/dia, e  $ET$  é a evapotranspiração em mm/dia. Utilizando a equação 5.1, os valores médios mensais da chuva ( $R$ ), vazão ( $Q$ ) e evapotranspiração ( $ET$ ) foram calculados e estão apresentados na Tabela 5.1.

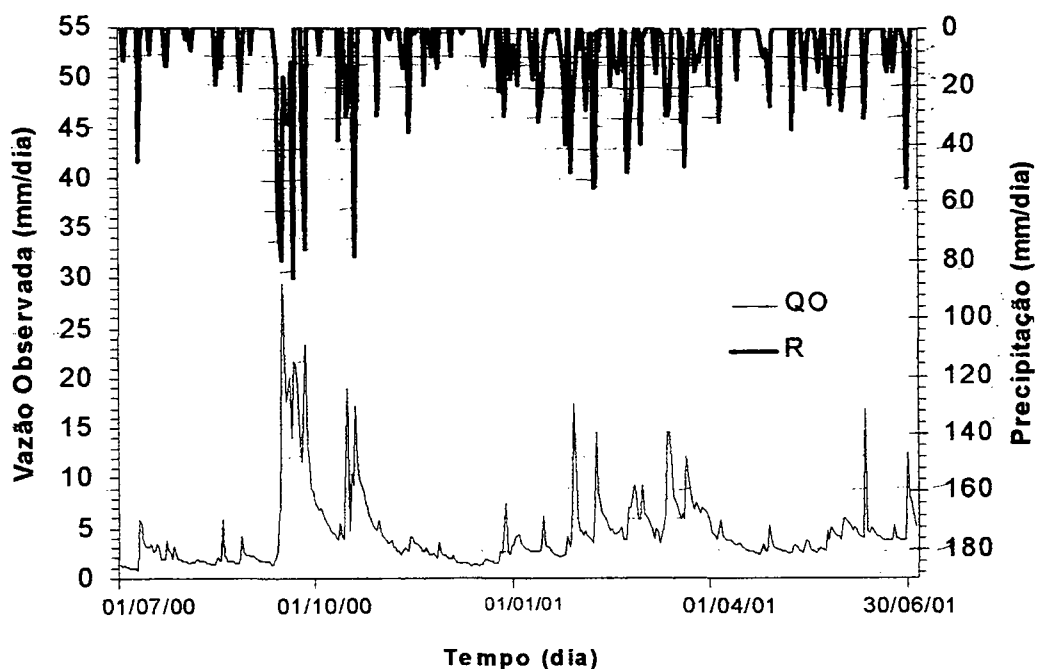


FIGURA 5.2 HIETOGRAMA E HIDROGRAMA MONITORADOS NA BACIA DO PINUS.

O presente trabalho considerou o inverno ocorrendo entre os meses de julho a setembro, a primavera de outubro a dezembro, o verão de janeiro a março, e o outono de abril a junho. É evidente que  $Q/R$  no verão foi menor, devido a alta taxa de evapotranspiração, causada pela elevação de temperatura neste período. Já nas outras estações do ano, observou-se que a relação  $Q/R$  é maior, provavelmente devido a baixa

taxa de evapotranspiração causado pelo decréscimo da temperatura e conseqüente redução da atividade biológica.

TABELA 5-1 BALANÇO HÍDRICO MENSAL DAS QUATRO ESTAÇÕES:  
INVERNO(a); PRIMAVERA(b); VERÃO(c) E OUTONO(d).

BALANÇO HÍDRICO					
PERÍODO DE INVERNO DE 2000 (a)					
Mês	Chuva R (mm/mês)	Vazão (mm/mês)	ET (mm)	Q/R%	ET/R%
Julho	96,00	73,79	22,21	76,86	23,14
Agosto	87,00	61,25	25,75	70,40	29,60
Setembro	487,00	343,53	143,47	70,54	29,46
Total (mm/trimestre)	670,00	478,57	191,43	71,43	28,57
Média (mm/mês)	223,33	159,52	63,81	71,43	28,57
PERÍODO DE PRIMAVERA DE 2000 (b)					
Mês	Chuva R (mm/mês)	Vazão (mm/mês)	ET (mm)	Q/R%	ET/R%
Outubro	247,00	211,71	35,29	85,71	14,29
Novembro	122,00	84,16	37,84	68,98	31,02
Dezembro	135,00	67,14	67,86	49,73	50,27
Total (mm/trimestre)	504,00	363,01	140,99	72,02	27,97
Média (mm/mês)	168,00	121,00	36,57	68,14	31,86
PERÍODO DE VERÃO DE 2001 (c)					
Mês	Chuva R (mm/mês)	Vazão (mm/mês)	ET (mm)	Q/R%	ET/R%
Janeiro	302,50	121,42	181,08	40,14	59,86
Fevereiro	335,00	171,17	163,83	51,10	48,90
Março	280,00	216,66	63,34	77,38	22,62
Total (mm/trimestre)	917,50	509,25	408,25	55,50	44,49
Média (mm/mês)	305,83	169,75	136,08	56,20	43,79
PERÍODO DE OUTONO DE 2001 (d)					
Mês	Chuva R (mm/mês)	Vazão (mm/mês)	ET (mm)	Q/R%	ET/R%
Abril	121,00	98,29	22,71	81,23	18,77
Mai	192,00	112,02	79,98	58,34	41,66
Junho	171,00	160,64	10,36	93,94	6,06
Total (mm/trimestre)	484,00	370,95	113,05	76,64	23,35
Média (mm/mês)	161,33	123,65	37,68	77,83	22,16

## 5.2 ANÁLISE DE RECESSÃO DO ESCOAMENTO DE BASE

A Figura 5.3, apresenta uma das curvas de recessão monitorada na Bacia do Pinus no período entre 11 de abril de 2001 a 19 de abril de 2001. A linha de regressão linear está expressa com a equação  $Y = -\alpha \cdot X + \beta$ . O valor de  $\alpha$  da equação é definido como o coeficiente de recessão. No presente trabalho, o coeficiente  $\alpha$  implica a velocidade de redução da vazão na forma potencial.

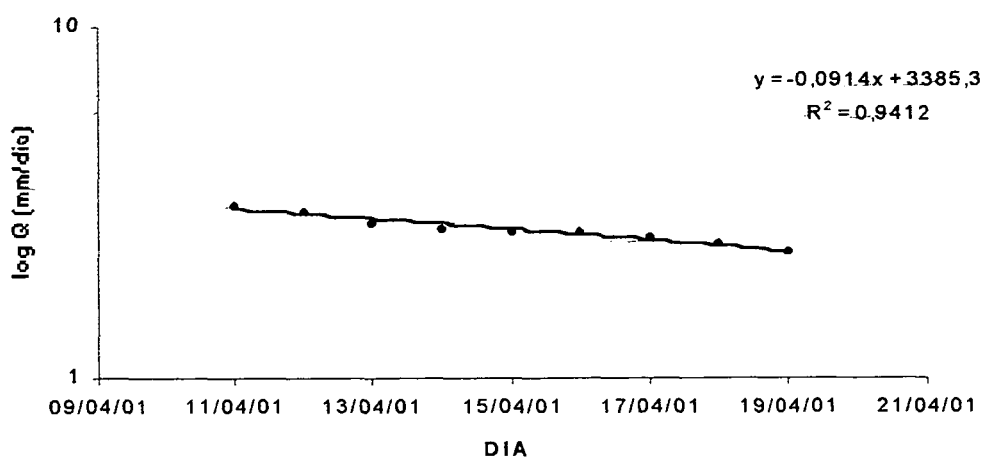


FIGURA 5.3 CURVA DE RECESSÃO NO PERÍODO ENTRE 11/04/01 A 19/04/01.

Na Tabela 5.2 estão tabuladas as equações de regressão linear para os períodos de estiagem que duraram mais de 4 dias. Os valores de  $\alpha$ , determinados nas 29 equações de regressão dos períodos de estiagem, foram relacionados com os valores da vazão inicial ( $Q_1$ ) do período de estiagem (Figura 5.4) e também com a vazão média ( $Q_{\text{medio}}$ ) do período (Figura 5.5).



TABELA 5-2 INTERVALO DE ESTIAGEM E EQUAÇÕES DE REGRESSÃO QUE OS REPRESENTAM DURANTE UM ANO DE MONITORAMENTO.

PERÍODO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>
04/07/00 a 09/07/00	$y = - 0,064x + 2348,9$	0,9495
16/07/00 a 20/07/00	$y = - 0,0972x + 3572,1$	0,0916
24/07/00 a 31/07/00	$y = - 0,1402x + 5150,9$	0,3838
04/07/00 a 14/08/00	$y = - 0,048x + 1764,6$	0,7307
18/08/00 a 25/08/00	$y = - 0,0954x + 3508,4$	0,8713
02/08/00 a 10/09/00	$y = - 0,0656x + 2414,6$	0,9167
20/09/00 a 23/09/00	$y = - 3,355x + 122731$	0,9823
25/09/00 a 30/09/00	$y = - 1,2263x + 45131$	0,9338
02/10/00 a 09/10/00	$y = - 0,361x + 3293$	0,9847
19/10/00 a 26/10/00	$y = - 0,6983x + 25721$	0,9601
18/10/00 a 01/11/00	$y = - 0,3265x + 12027$	0,9404
03/11/00 a 07/11/00	$y = - 0,1699x + 6260,2$	0,8949
25/11/00 a 29/11/00	$y = - 0,1715x + 6323,9$	0,8988
01/12/00 a 04/12/00	$y = - 0,1161x + 4282,2$	0,8594
06/12/00 a 13/12/00	$y = - 0,0324x + 1194,4$	0,6183
16/12/00 a 21/12/00	$y = - 0,08752x + 3227,1$	0,937
31/12/00 a 05/01/01	$y = - 0,1678x + 6192,5$	0,9998
07/02/01 a 12/02/01	$y = - 0,5199x + 19207$	0,9998
27/02/01 a 02/03/01	$y = - 0,60751x + 24949$	0,9814
28/03/01 a 31/03/01	$y = - 0,246x + 9100,7$	0,994
02/04/01 a 08/04/01	$y = - 0,1518x + 5618,8$	0,9654
11/04/01 a 19/04/01	$y = - 0,0914x + 3385,3$	0,9412
26/04/01 a 30/04/01	$y = - 0,1064x + 3941$	0,9816
05/05/01 a 09/05/01	$y = - 0,1967x + 7283$	0,8867
12/05/01 a 15/05/01	$y = - 0,0722x + 7283$	0,8867
23/05/01 a 26/05/01	$y = - 0,169x + 6263$	0,8554
30/05/01 a 05/06/01	$y = - 0,198x + 7338,5$	0,8598
08/06/01 a 15/06/01	$y = - 0,1771x + 6568,3$	0,9412
27/06/01 a 30/06/01	$y = - 0,8501x + 31520$	0,9816

Obs: y é a vazão em mm/dia na escala logarítmica; x é o intervalo diário de monitoramento; R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação.

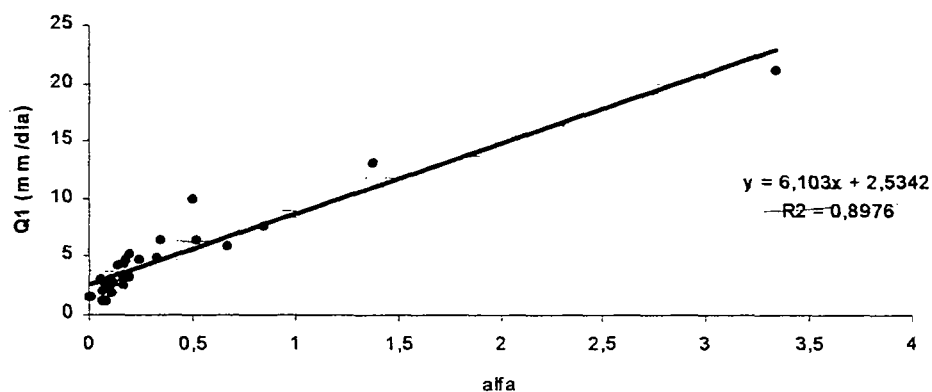


FIGURA 5.4 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE A VAZÃO INICIAL NA RECESSÃO E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ )

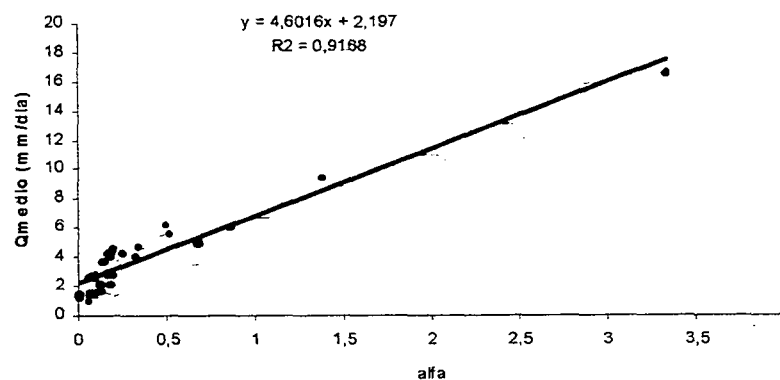


FIGURA 5.5 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DA VAZÃO MÉDIA NA FASE DE RECESSÃO E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ ).

As figuras mostram a mesma tendência, sendo que o valor de  $\alpha$  possui maior correlação com os valores de  $Q_{\text{medio}}$  do que os valores de  $Q_1$ . Os resultados da figura

5.4 e 5.5 mostram que a capacidade de recarga da Bacia do Pinus depende da quantidade de armazenamento de água na mesma.

MOSLEY (1979) apresentou o Índice de Precipitação Antecedente (API) em mm que é considerado como uma condição aproximada de armazenamento da água existente na bacia com a seguinte equação:

$$API = \sum_{i=1}^{30} \left( \frac{Pi}{i} \right) \quad (5.2)$$

onde  $i$  ( $= 1$  a  $30$ ) é o  $i$ -ésimo dia anterior ao evento;  $Pi$  é a precipitação diária em mm/dia. Supondo que o API é mais adequado do que  $Q_1$  e  $Q_{medio}$  para expressar a quantidade de umidade da bacia, o valor de API para cada evento foi estimado e estes valores foram correlacionados com  $\alpha$  (Figura 5.6). Embora a correlação entre  $\alpha$  e API seja menor que as correlações entre  $\alpha$  e  $Q_1$  e  $Q_{medio}$ , ainda observa-se que esta correlação é elevada, o que justifica a metodologia proposta por MOSLEY (1979), ou seja, o API mostrou-se adequado para este tipo de análise.

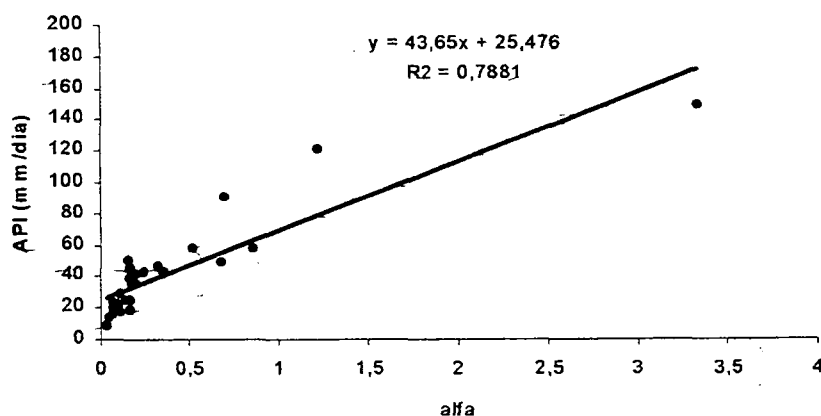


FIGURA 5.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E O COEFICIENTE DA CURVA DE RECESSÃO ( $\alpha$ ).

A Figura 5.7 e 5.8 mostram a correlação entre API com  $Q_1$  e API com  $Q_{\text{médio}}$ . Observa-se claramente que API possui alta correlação tanto com  $Q_1$  como  $Q_{\text{médio}}$ . O API pode ser utilizado como um indicador.

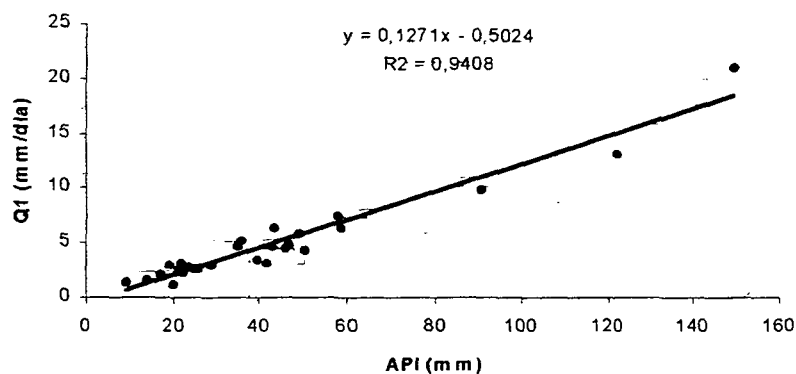


FIGURA 5.7 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E A VAZÃO INICIAL ( $Q_1$ ).

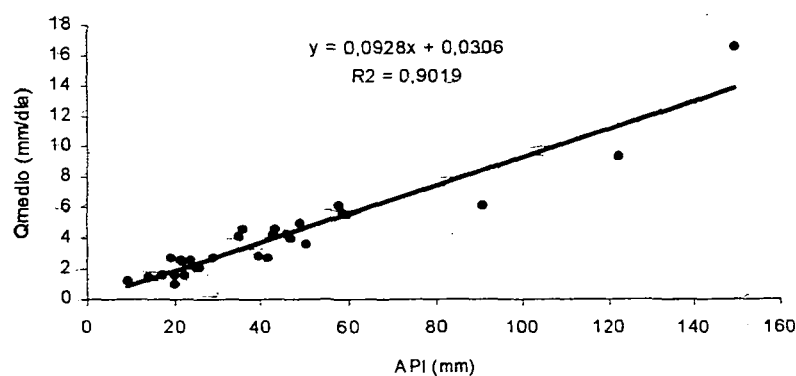


FIGURA 5.8 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE (API) E A VAZÃO MÉDIA ( $Q_{\text{MEDIO}}$ ).

### 5.3 SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA

Segundo HEWLETT e HIBBERT (1967), o escoamento de base aumenta na proporção de  $0,55\text{L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}.\text{h}^{-1}$  (intervalo horário) durante o evento de chuva. Para ser utilizado no hidrograma da Bacia do Pinus, o valor (constante) do método proposto pelos autores foi transformado e ficou em  $1,14048\text{ mm/dia/dia}$ . A Figura 5.9 apresenta o resultado da separação de hidrograma no mês de setembro utilizando o método proposto por HEWLETT e HIBBERT (1967).

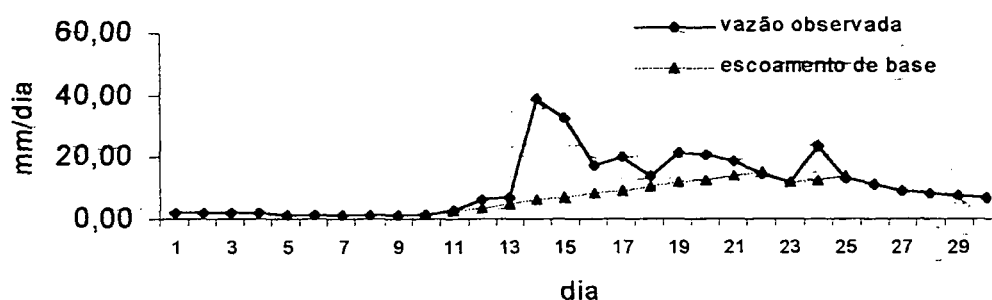


FIGURA 5.9 SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA NO MÊS DE SETEMBRO DE 2000 COM O MÉTODO DE HEWLETT E HIBBERT (1967).

Os resultados da separação estão apresentados na Tabela 5.3. O escoamento direto foi maior no mês de setembro, isto provavelmente porque a chuva foi mais intensa neste mês. Nos outros meses do ano, o escoamento de base mostra ser o maior contribuinte do escoamento total, comprovando a influência da água subsuperficial no escoamento total.

TABELA 5-3 SEPARAÇÃO DE HIDROGRAMA COM O MÉTODO DE HEWLETT E HIBBERT (1967)

ESCOAMENTO	MESES DO ANO											
	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	maio	jun
QT (mm/mês)	73,79	61,25	324,87	211,72	84,16	67,14	121,42	173,29	216,67	98,3	112,02	160,65
QB (%)	88,77	93,72	62,63	92,27	99,00	95,71	87,28	89,52	88,25	98,83	99,08	87,03
QD (%)	11,23	6,28	37,37	7,73	1,00	4,29	12,72	10,48	11,75	1,17	0,92	12,97

Obs: QT é o escoamento total, QB é escoamento de base e QD é o escoamento direto.

## 5.4 CURVA DE PERMANÊNCIA

Segundo VILLELA e MATTOS (1975), dá-se o nome de curva de permanência de vazões à representação gráfica da função  $Q$  pelo tempo, sendo a duração normalmente expressa em porcentagem. Como cada dado de vazão corresponde a um intervalo de tempo (dia), há uma correspondência entre a porcentagem da vazão e o período total de dados coletados. A Tabela 5.4 apresenta os valores monitorados em ordem decrescente. Os resultados da Tabela 5.4 podem ser visualizados na Figura 5.10.

TABELA 5-4 PERMANÊNCIA DA VAZÃO NA BACIA DO PINUS.

vazão mm/dia	F dia	D dia	D %	vazão mm/dia	F dia	D dia	D %	vazão mm/dia	F dia	D dia	D %
39,2	1	1	0,27	6,96	7	53	14,52	3,36	4	196	53,7
32,48	1	2	0,55	6,85	3	56	15,34	3,27	5	201	55,07
23,43	1	3	0,82	6,63	1	57	15,62	3,19	5	206	56,44
21,74	1	4	1,1	6,52	2	59	16,16	3,1	7	213	58,36
21,24	1	5	1,37	6,41	7	66	18,08	3,02	8	221	60,55
20,1	1	6	1,64	6,3	1	67	18,36	2,93	4	225	61,64
19,14	1	7	1,92	6,19	2	69	18,9	2,85	1	226	61,92
18,98	1	8	2,19	6,08	1	70	19,18	2,77	5	231	63,29
17,72	1	9	2,47	5,98	2	72	19,73	2,69	10	241	66,03
17,41	1	10	2,74	5,87	11	83	22,74	2,61	22	263	72,05
17,26	1	11	3,01	5,66	1	84	23,01	2,53	6	269	73,7
16,95	1	12	3,29	5,55	2	86	23,56	2,45	4	273	74,79
16,2	1	13	3,56	5,45	3	89	24,38	2,37	2	275	75,34
14,72	2	15	4,11	5,35	6	95	26,03	2,29	5	280	76,71
14,58	1	16	4,38	5,25	2	97	26,58	2,22	9	289	79,18
14,14	1	17	4,66	5,15	3	100	27,4	2,07	4	293	80,27
13,15	1	18	4,93	5,05	3	103	28,22	2	4	297	81,37
12,6	1	19	5,21	4,95	3	106	29,04	1,92	2	299	81,92
12,19	1	20	5,48	4,85	14	120	32,88	1,85	11	310	84,93
12,05	1	21	5,75	4,75	1	121	33,15	1,78	3	313	85,75
11,78	1	22	6,03	4,65	2	123	33,7	1,71	7	320	87,67
11,65	1	23	6,3	4,46	1	124	33,97	1,64	9	329	90,14
11,25	1	24	6,58	4,36	6	130	35,62	1,58	4	333	91,23
10,46	1	25	6,85	4,27	7	137	37,53	1,51	5	338	92,6
10,21	1	26	7,12	4,17	7	144	39,45	1,45	6	344	94,25
9,95	1	27	7,4	4,08	5	149	40,82	1,38	5	349	95,62
9,32	3	30	8,22	3,99	5	154	42,19	1,32	2	351	96,16
8,95	1	31	8,49	3,89	15	169	46,3	1,25	5	356	97,53
8,71	2	33	9,04	3,8	5	174	47,67	1,19	4	360	98,63
8,47	1	34	9,32	3,71	5	179	49,04	1,07	1	361	98,9
8,11	3	37	10,14	3,62	2	181	49,59	1,02	2	363	99,45
7,53	8	45	12,33	3,53	1	182	49,86	0,9	1	364	99,73
7,19	1	46	12,6	3,45	10	192	52,6	0,85	1	365	100

Obs: F é a frequência e D é a duração.

A vazão mediana observada nos 365 dias foi de 5,05mm/dia. Quando ocorreu o pico de vazão, o escoamento teve rápido decréscimo, provavelmente devido ao escoamento da bacia ser em maior parte constituída de escoamento de base.

A bacia experimental não apresenta vegetação arbórea e por isso, o escoamento superficial ocorre em um curto período de tempo.

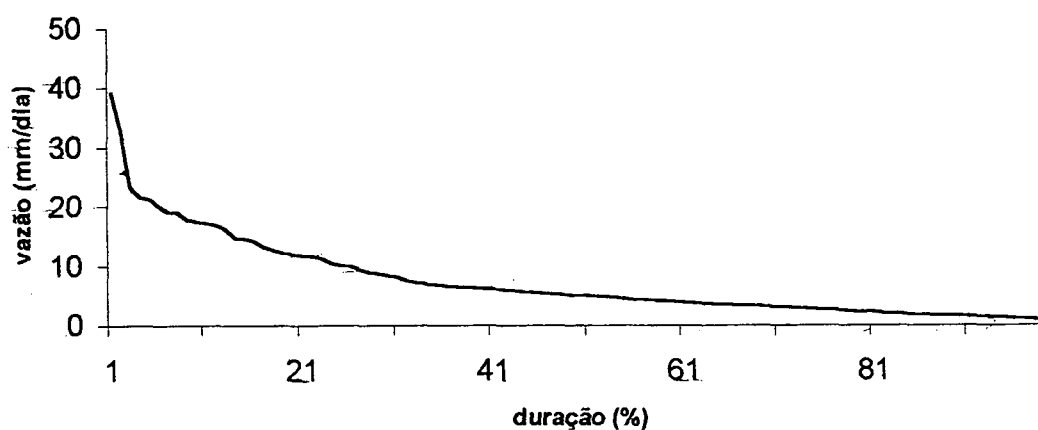


FIGURA 5.10 CURVA DE PERMANÊNCIA DA VAZÃO DETERMINADA NA BACIA DO PINUS

## 5.5 APLICAÇÃO DO MODELO HYCYMODEL

A Figura 5.11 mostra os hidrogramas, observado e calculado com o auxílio do modelo HYCYMODEL. Os dados utilizados nas análises de simulação com o modelo referem-se ao período de 01 de julho de 2000 até 30 de junho de 2001. Através de uma série de simulações foram determinados os valores dos parâmetros de calibração do modelo HYCYMODEL, conforme pode ser observado na Tabela 5.5.

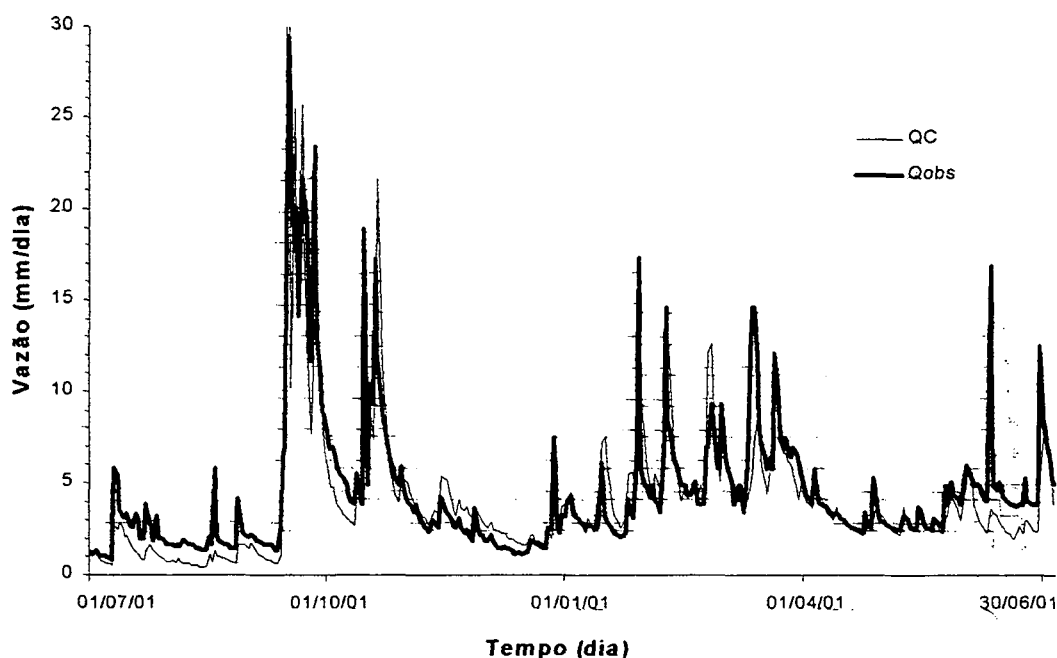


FIGURA 5.11 HIDROGRAMAS COM VAZÃO OBSERVADA ( $Q_{obs}$ ) E VAZÃO CALCULADA ( $Q_C$ ) COM O MODELO HYCYMODEL NA BACIA DO PINUS.

TABELA 5-5 PARÂMETROS AJUSTADOS NAS SIMULAÇÕES COM O MODELO HYCYMODEL

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
C	0,035	$K_u$	58	$K_c$	10
$D_{16}$ (mm)	1	$K_b$	110	$P_{ta}$	85
$D_{50}$ (mm)	85	$K_h$	700	$P_{tb}$	49

A Figura 5.12 mostra o ajuste do modelo, quando realizado uma correlação entre a vazão observada e a vazão calculada. Analisando a Figura 5.12, confirma-se que o modelo subestimou os valores de vazão baixa e superestimou os valores de vazão alta. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido na análise foi de 0,7119.



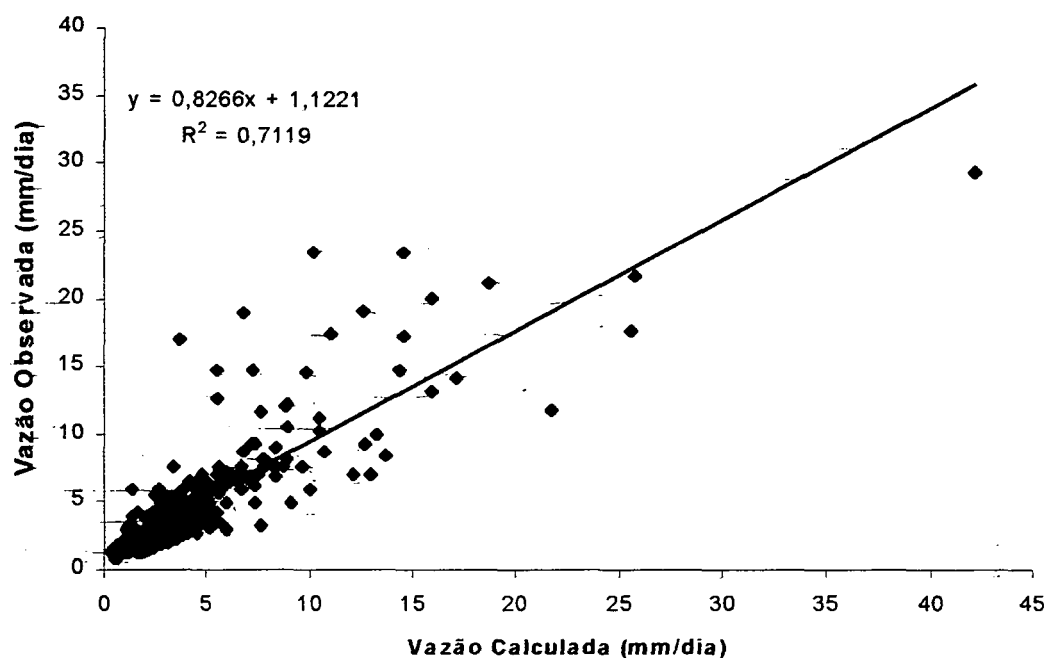


FIGURA 5.12 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS VALORES DE VAZÃO OBSERVADA E SIMULADA NO MODELO HYCYMODEL.

A separação do hidrograma pelo HYCYMODEL resultou na Figura 5.13. As porcentagens do escoamento direto ( $Q_d$ ) sobre a vazão total no inverno, primavera, verão e outono foram 19,65%, 53,27%, 45,67% e 57,43%, respectivamente, sendo sua média anual de 44,00%.

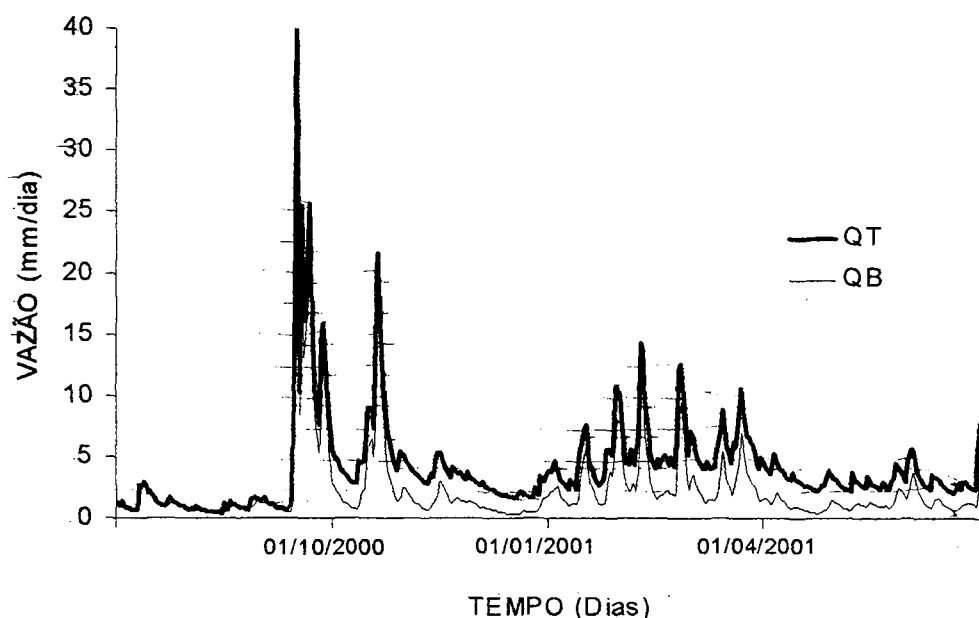
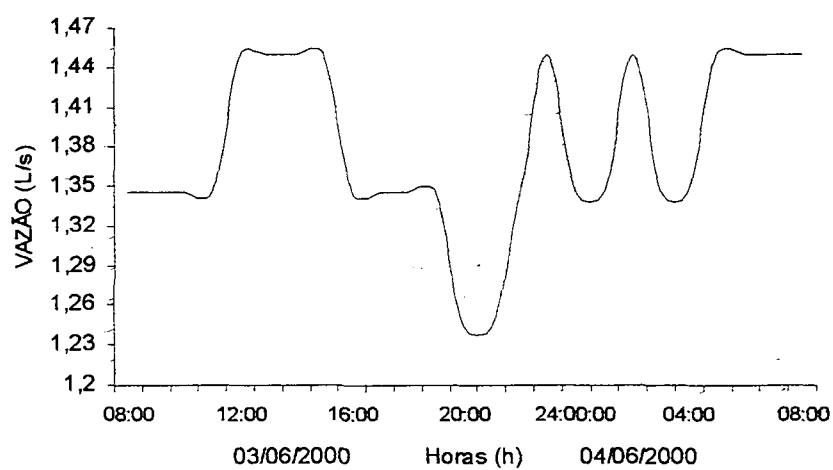


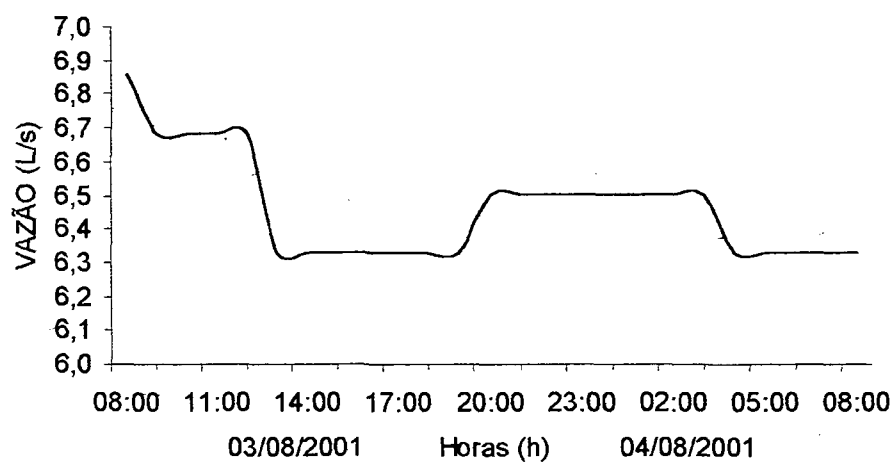
FIGURA 5.13 SEPARAÇÃO DO HIDROGRAMA EM ESCOAMENTO DE BASE ( $Q_B$ ) E ESCOAMENTO TOTAL ( $Q_T$ ) EM mm/dia.

## 5.6 VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO EM UM CURTO INTERVALO DE TEMPO

Na Figura 5.14 apresenta-se os resultados das observações mm/dia intensivas (de hora em hora) realizadas no período entre às 8:00h da manhã do dia 03 até 8:00h da manhã do dia 04 de junho de 2000, e de 03 a 04 de agosto de 2001 durante o mesmo horário. Não houve nenhuma chuva durante os dias analisados e o período ocorreu dentro de uma estiagem. A variação verificada não coincide com variação da temperatura, radiação solar, entre outros fatores meteorológicos. Os valores do coeficiente de variação são diferentes para os dois períodos de medição (Tabela 5.6), o que demonstra para a Bacia do Pinus, que a vazão depende de outros fatores além da chuva.



(a)



(b)

FIGURA 5.14 VARIAÇÃO HORÁRIA DA VAZÃO: (a) NO PERÍODO DE 03 A 04/06/00; (b) NO PERÍODO DE 03 A 04/08/01.

TABELA 5-6 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS OBTIDOS PARA A VAZÃO HORÁRIA MEDIDA EM DOIS PERÍODOS.

Período	Vazão média (L/s)	Desvio padrão (L/s)	Coef. de variação (%)
03 a 04/06/00	1,3792	0,0649	4,71
03 a 04/08/01	6,4606	0,1564	2,42

## 6 CONCLUSÕES

Dada a importância e necessidade de se verificar a influência da vegetação (floresta) sobre processos hidrológicos na região sul do Estado do Paraná, o presente trabalho objetivou o estudo de uma pequena bacia hidrográfica experimental, localizada no município de General Carneiro, denominada Bacia do Pinus. Depois de um ano de monitoramento, os dados de chuva e vazão, medidos respectivamente em um pluviômetro e Calha Parshall, foram analisados. Uma série de simulações do processo chuva-vazão com o modelo HYCYMODEL foram realizados. Com os resultados obtidos concluiu-se que:

- 1- Os dados pluviométricos da estação de Iratin e da Bacia do Pinus não obtiveram boa correlação ( $R^2 = 0,2437$ ), o que impossibilita a utilização de dados pluviométricos da estação de Iratin para futuros monitoramentos na Bacia do Pinus.
- 2- A análise do balanço hídrico com os dados monitorados demonstrou que nos períodos de inverno, primavera e outono, a relação ET/R ficou entre 22,16% e 31,86%, e no verão, a relação foi de 43,79%.
- 3- A análise de recessão do escoamento de base utilizando o coeficiente de recessão ( $\alpha$ ), apresentou boa correlação com os valores da vazão inicial ( $R^2 = 0,8976$ ). A análise de regressão entre  $\alpha$  e a vazão média ( $Q_{\text{medio}}$ ) também apresentou boa correlação ( $R^2 = 0,9168$ ).
- 4- Os coeficientes de determinação nas análises de regressão entre  $\alpha$  e API ( $R^2 = 0,7881$ ),  $Q_1$  e API ( $R^2 = 0,9019$ ) e  $Q_{\text{medio}}$  e API ( $R^2 = 0,9408$ ) comprovam a possibilidade de aplicação do API para caracterizar a quantidade de água armazenada na bacia.

- 5- O escoamento direto foi 37 % no mês de setembro, devido as chuvas mais intensas neste mês. Nos demais meses do ano, o escoamento de base ficou entre 87% e 99%, mostrando ser o maior contribuinte do escoamento total, comprovando a influência da água subsuperficial no escoamento total.
- 6- Nos 365 dias de observação, a curva de permanência apresentou uma mediana da vazão por unidade de área ( $Q_{va}$ ) igual a 5,05mm/dia. A curva mostra uma inclinação acentuada no pico de vazão.
- 7- O modelo HYCYMODEL apresenta um ajuste razoável para a Bacia do Pinus ( $R^2 = 0,7119$ ), entretanto, ainda apresenta a tendência de subestimar quando ocorre baixa vazão e superestimar na vazão alta.

## 7 RECOMENDAÇÕES

O conjunto de dados analisados demonstrou que a área em estudo possui concentração de precipitação em curto espaço de tempo.

Durante dois períodos de 24 horas foi realizado o monitoramento intensivo, cujos resultados demonstraram a variação temporal da vazão. Isso afirma a necessidade de um monitoramento com sensor para poder medir parâmetros com intervalos horários ou até menor.

O presente trabalho realizou o monitoramento no início do reflorestamento. Para avaliar a influência da floresta, o monitoramento deverá continuar durante o desenvolvimento da floresta. Provavelmente, nos próximos anos será possível avaliar a influência da floresta na evapotranspiração.

Entretanto, há muito tempo, existem críticas contra estudos hidrológicos com bacias experimentais. As principais críticas são: (1) Necessita de muito tempo e custo até obter resultados; (2) Não há representatividade para áreas maiores; (3) Devido à ocorrência de drenagem profunda (vazamento para fora), é difícil fazer estudo de balanço hídrico; (4) É difícil transferir os resultados; entre outros. HEWLETT et al. (1969) defenderam-se contra as críticas dispostas acima e demonstraram que os estudos nas pequenas bacias proporcionam inúmeras vantagens.

Além da medição de chuva e vazão, com a instalação de piezômetros e tensiômetros nos próximos monitoramentos, será possível conhecer melhor a dinâmica da água e o seu estado de energia, o que permitirá conseqüentemente quantificar o armazenamento da água da bacia. Também devem ser monitorados aspectos qualitativos da água tais como  $\text{N-NO}_2^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{P-PO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ , turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos.

Embora haja desvantagens, o monitoramento em bacias experimentais está se aperfeiçoando, e junto com a modelagem, será indispensável e fornecerá informações fundamentais para elaborar técnicas adequadas para o manejo de bacias hidrográficas em todas as regiões.

## 8 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M.G.; BURT, T.P. Interpretation of recession flow. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.46, p.89-101, 1980.
- ANDERSON, M.G.; BURT, T.P. (eds.) **Process Studies in Hillslope Hydrology**. Chichester: John-Wiley, 1990. 539p.
- APPLEBY, F.V. Recession and the baseflow problem. **Water Resour. Res.**, Washington, v.6, p.1398-1403, 1970.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.9, n.2, p.153-170, 1997.
- ARCOVA, F.C.S.; LIMA, W.P.; CICCIO, V. Balanço hídrico de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.10, n.1, p.39-51, 1998a.
- ARCOVA, F.C.S.; LIMA, W.P.; CICCIO, V. Calibração de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.10, n.1, p.109-121, 1998b.
- ARIYAKANON, N. **Studies on long-term trend in discharge characteristics in forested watersheds**. Tokyo: University of Tokyo, 2000. 161p. (Doctor's dissertation)
- AZEVEDO NETTO J. M.; ALVAREZ G. A., **Manual de Hidráulica**, 7ª edição ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1991, 728p.
- BARNES, B.S. The structure of discharge-recession curves. **Trans. Am. Geophys. Union**, Washington, v.20, p.721-725, 1939.
- BEVEN, K.J. (ed.) **Distributed hydrological modelling: Applications of the TOPMODEL concept**. Chichester: John-Wiley, 1997. 348p.
- BIDIN, K.; GREER, T. A spreadsheet-based technique (Lotus 1-2-3) for separating tropical forest storm hydrographs using Hewlett and Hibbert's slope. **Earth surface process landforms**, v.22, p.1231-1237, 1997.
- BLACK, P.E. **Watershed hydrology**. 2ed. Chelsea: Ann Arbor Press, 1996. 449p.
- BONELL, M. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.150, p. 217-275, 1993.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.55, p.3-23, 1982.



- BRUIJINZEEL, L.A. **Hydrology of moist forests and the effects of conversion: a state of knowledge review**. Paris: UNESCO, 1990. 224p.
- CALDER, I.R. The measurement of water losses from a forested area using a "natural" lysimeter. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.30, p.311-325, 1976.
- CALDER, I.R. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.33, p.247-265, 1977.
- CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. In: TUCCL, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora Universitária / Edusp / ABRH, 1993. 485- 525p.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572p.
- CRAWFOLD, N.H.; LINSLEY, R.K. The synthesis of continuous stream flow hydrographs on a digital computer. **Stanford Univ.-Dept. Civil Eng.**, 1962.
- DUNNE, T. Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. In: HIGGINS, C.G.; COATES, D.R. (eds.) **Groundwater geomorphology; The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Processes and Landforms**. Boulder: Geological Society of America, 1990. p.1-28.
- EMBRAPA **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília: EMBRAPA, 1986. 89p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 1999. 412p
- FRANCO, H. M. A Vida por um Fio sem as Florestas. **Agropecuária Catarinense**, 2(2):25-32, 1989.
- FREEZE, R.A. Role of subsurface flow in generating surface runoff. 2. Upstream source areas. **Water Resour. Res.**, Washington, v.8, p.1272-1283, 1972.
- FUKUSHIMA, Y. A model of river flow forecasting for small forested mountain catchment. **Hydrological Processes**, Amsterdam, v.2, p.167-185, 1988.
- FUKUSHIMA, Y. Effect of reforestation on the hydrological cycle of granite mountainous catchments. **Suiri-Kagaku (Water science)**, n.177, p.17-34, 1987.
- FUKUSHIMA, Y.; SUZUKI, M. Hydrological cycle model for mountain watersheds and its application to the continuous 10 years records at intervals of both a day and an hour of Kiryu Watershed, Shiga Prefecture. **Buletim University Forest-Kyoto Univ.**, Kyoto, p.162-185, 1986.
- FUKUSHIMA, Y.; SUZUKI, M.; TAKEI, A. Differences of hydrological characteristics between lawn and forest. **J.Jap.Soc.Erosion Control Eng.**, v.40, n.5, p.4-13, 1988. (em japonês com sumário inglês)

- FUKUSHIMA, Y.; TOMOMURA, M.; SUZUKI, M.; KUBOTA, J. Rain and snow runoff from a warm-temperate mountain catchment underlain by Paleozoic Era formations (I) Characteristics of streamflow during a non-snow season. **J.Jap.For.Soc.**, v.71, p.187-195, 1989. (em japonês com sumário inglês)
- FUKUSHIMA, Y.; WATANABE, O.; HIGUCHI, K. Estimation of streamflow change by global warming in a glacier-covered high mountain area of the Nepal Himalaya. In **Proceedings of the Vienna Symposium**. IAHS Publ., n.205, p.181-188, 1991.
- GASH, J.H.C. An analytical model of rainfall interception by forests. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, v.105, p.43-55, 1979.
- GASH, J.H.C.; STEWART, J.B. The evaporation from Thetford Forest during 1975. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.35, p.385-396, 1977.
- GOLDING, D.L. Calibration methods for detecting changes in streamflow quantity and regime. In: **THE INFLUENCE OF MAN ON THE HYDROLOGICAL REGIME WITH SPECIAL REFERENCE TO REPRESENTATIVE AND EXPERIMENTAL BASINS**, Helsinki, IAHS, **Proceedings**, 1980. p.3-7. (Publication, 130).
- HALL, F. R. Base-flow recessions – a review. **Water Resour. Res.**, Washington, v.4, p.973-983, 1968.
- HARR, R. D. Water flux in soil and subsoil on a steep forested slope. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.33, p. 37-58, 1977.
- HINO, M. On runoff models. In: HINO, M. OHTA, T.; SUNADA, K.; WATANABE, K. **Numerical forecast of floods: A first step**. Tokyo: Morikita Pub., 1989. p.6-13. (em japonês).
- HINO, M.; HASEBE, M. Analysis of hydrologic characteristics from runoff data – A hydrologic inverse problem. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.49, p.287-313, 1981.
- HINO, M.; HASEBE, M. Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation autoregressive (AR) method: Extension to hourly hydrologic data. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.68, p.181-210, 1984.
- HINO, M.; HASEBE, M. Separation of a storm hydrograph into runoff components by both filter-separation AR method and environmental isotope tracers. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.85, p.251-264, 1986.
- HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: Sopper, W. E.; Lul, H. W. (eds) **International Symposium on Forest Hydrology**, Oxford: Pergamon Press, 1967. p.275-290.

- HEWLETT, J.D.; LULL, H.W.; REINHART, K.G. In defense of experimental watersheds. **Water Resour. Res.**, Washington, v.5, p.306-316, 1969.
- KAYANE, I. **Hydrology**. Tokyo: Taimeido, 1980. 272p.
- KIRKBY, M.J. (ed.) **Hillslope hydrology**. Chichester: John-Wiley, 1978. 389p.
- KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas – Conceitos básicos. In: Curso “Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal”, **Apostila**, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.
- KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, No. 32, p.112-117, 2000.
- KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas. In: Curso “O Manejo de Baicas Hidrográficas sob a Perspectiva Florestal”, Curitiba: UFPR, **Apostila**, 1999. p.111-118.
- KOMATSU, Y.; ONDA, Y. Spatial variation in specific discharge of base flow in a small catchments, Oe-yama Region, Western Japan. **J. Jap. Soc. Hydrol. Water Resour.**, Tokyo, v.9, p.489-497, 1996.
- KUBOTA, J.; OHTA, T.; SHIBANO, H. An analysis of runoff characteristics on volcanic areas using the HYCYMODEL. **J.Jap.Soc.Erosion Cotrol Eng.**, v.48 (Special Issue), p.77-89, 1996.
- LACEY, G.C.; GREYSON, R.B. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.204, p.231-250, 1998.
- LIMA, W. de P. **Impacto ambiental do eucalipto**, ed. Univ. de São Paulo, FAPESP, 306p, 1996.
- LIMA, W.de P.; MOREIRA, R.M.; SCARDUA, F.P.; MASETTO, A.V. The hydrology of a small catchment covered with 50-year old eucaliptus plantation in the Itatinga Ferest Experimental Station, State of São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.50, p.11-19, 1996.
- LINSLEY, R.K. Flood estimates: how good are they? **Water Resour. Res.**, Washington, v.22, n.9, supplement, p.159S-164S, 1986.
- MA, X.; FUKUSHIMA, Y.; HASHIMOTO, T.; HIYAMA, T.; NAKASHIMA, T. Application of a simple SVAT model in a mountain catchment under temperate humid climate. **J. Jap. Soc. Hydrol. Water Resour.**, Tokyo, v.12, p.285-294, 1999.
- MA, X.; FUKUSHIMA, Y.; HIYAMA, T.; HASHIMOTO, T.; OHATA, T. A macro-scale hydrological analysis of the Lena River basin. **Hydrological Processes**, Amsterdam, v.14, p.639-651, 2000.

- MA, X.; HIYAMA, T.; FUKUSHIMA, Y.; HASHIMOTO, T. A numerical model of the heat transfer for permafrost regions. **J. Jap. Soc. Hydrol. Water Resour.**, Tokyo, v.11, p.346-359, 1998.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: M. Roesner, 1968. 350p.
- McCULLOCH, J.S.G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.150, p.189-216, 1993.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas: Manual Operativo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1987. 60p.
- MOSLEY, M. P. Streamflow generation in a forested watershed, New Zealand. **Water Resour. Res.**, Washington, v.15, p.795-806, 1979.
- NATHAN, R.J.; McMAHON, T.A. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. **Water Resour. Res.**, Washington, v.26, p.1465-1473, 1990.
- O'LOUGHLIN, E.M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resour. Res.**, Washington, v.22, n.9, p.794-804, 1986.
- PARSHALL, R. L., **Measuring water in irrigation channels with Parshall flumer and small weirs**. U. S. Soil Conservation Service. Circular 843 (1950). Colorado Agricultural Experimental Station. Bulletin n° 426 A (1953).
- PEARCE, A.J.; ROWE, L.K. Rainfall interception in a multi-storied, evergreen mixed forest: Estimates using Gash's analytical model. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.49, p.341-353, 1981.
- PILGRIM, D.H.; CORDERY, I.; BARON, B.C. Effects of catchment size on runoff relationships. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.58, p.205-221, 1982.
- PRIESTRY, C.H.B.; TAYLER, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Rev.**, v.100, n.2, p.81-92, 1972.
- RAMOS, F. et al. **Engenharia Hidrológica**. Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 404p, 1989.
- RICE, K.C.; BRICKER, O.P. Seasonal cycles of dissolved constituents in streamwater in two forested catchments in the mid-Atlantic region of the eastern USA. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.170, p.137-158, 1995.

- ROBERTS, J. Forest transpiration: A conservative hydrological process? **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.66, p.133-141, 1983.
- RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsian pine. **Agric. Meteorol.**, v.9, p.367-384, 1971.
- SAHIN, V.; HALL, M.J. The effects of afforestation and deferestation on water yields. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.178, p.293-309, 1996.
- SAVENIJE, H.H.G. New definitions for moisture recycling and the relation with land-use changes in the Sahel. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v.167, p.57-78, 1995.
- SHERMAN, L.K. Streamflow from rainfall by unit-graph method. **Engineering News-Record**, New York, v.108, p.501-505, 1932.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora Universitária / Edusp / ABRH, 1997, 35-51p
- SUDERHSA **Qualidade das águas interiores do Estado do Paraná 1987 – 1995**. Curitiba: SUDERHSA, 1997. 257p.
- SUGAI, M.R.; COLAÇO, R.F.; FAVORETO, R.S.; MÜLLER, M.; SANTOS, I. **Projeto HG-103 – Viabilidade técnica-econômica e ambiental da usina hidrelétrica Mauá. (Relatório No. 4)**. Curitiba: CEHPAR, 1998. 97p.
- SUGAWARA, M. On the analysis of runoff structure about several Japanese rivers. **Jap. J. Geophysics**, Tokyo, v.2, p.1-76, 1961.
- SUGAWARA, M.; WATANABE, I.; OZAKI, E.; KATSUYAMA, Y. **Tank Model with snow component**. Tsukuba: National Research Center for Disaster Prevention, 1983. 293p. (Research notes of the national research center for disaster prevention. n.65)
- SUREHMA **Bacias hidrográficas do Estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 1991. 84p.
- SWINDEL, B.F.; DOUGLAS, J.E. Describing and testing nonlinear treatment effects in paired watershed experiments. **Forest Sci.**, New York, v.30, p.305-313, 1984.
- TANAKA, H.; FUKUSHIMA, Y.; LI, C.; KUBOTA, J.; OHTA, T.; SUZUKI, M.; KOSUGI, K. Water discharge properties of evergreen broad-leaved forest river basin – Jiulianshan, Jiangxi Province, China. **J. Jap. Soc. Hydrol. Water Resour.**, Tokyo, v.11, p.240-252, 1998.
- TODD, D.K. **Groundwater hydrology**. New York: John-Wiley, 1959. 336p.

- TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940. **Water Resour. Res.**, Washington, v.23, p.425-437, 1987.
- TSUJIMURA, M.; ONDA, Y.; KOMATSU, Y.; SHIMIZU, T.; MATSUMURA, K.; HATTORI, S.; NAKAGAWA, Y.; MATSUI, T. Runoff and chemical characteristics in stream water of hilly headwater basins underlain by gravel and weathered granite. **J. Jap. Soc. Hydrol & Water Resour.**, Tokyo, v. 14, p.229-238, 2001.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ed. da Universidade/UFRGS. ABRH, 1997. 946p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: ed. Mc Graw Hill, 1975, 247p.

## ANEXO 1 CALHA PARSHALL

### A.1.1. – DIMENSIONAMENTO DA CALHA PARSHALL

A medida da vazão da água de uma bacia hidrográfica é uma das atividades mais importantes para a análise hidrológica da mesma. A calha Parshall é um dispositivo muito utilizado e eficiente para auxiliar na medição da vazão das bacias hidrográficas.

Uma das etapas mais importantes para o projeto de uma calha Parshall, é o seu correto dimensionamento, que deve considerar vários parâmetros, conforme está demonstrado e calculado abaixo:

### A.1.2 - ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA

Utilizou-se para estimativa da vazão máxima da bacia os seguintes dados:

- Área da bacia ( $A$ );
- Comprimento do rio ( $L$ );
- Desnível ( $H$ );
- Tempo de recorrência ( $Tr$ );
- Coeficiente de escoamento superficial  $C= 0,375$
- Precipitação diária máxima para período de recorrência de 10 anos = 120mm

Para a obtenção da vazão utilizou-se duas equações, que são mais comumente citadas na literatura. As equações são derivadas da fórmula racional, e os procedimentos de cálculo utilizando nas fórmulas estão demonstrados a seguir.

### A.1.3 - USANDO A EQUAÇÃO DE INTENSIDADE MÁXIMA DE CHUVA PARA A BACIA DO PINUS

$$Q = \frac{CIA}{3,6} = \frac{0,375 \times 191,2584 \times 0,083137}{3,6} = 1,656 \text{ m}^3/\text{s}$$

Onde:

$Q$  - Vazão de pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C$  - Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

$I$  - Intensidade máxima de chuva ( $\text{mm}/\text{h}$ );

$A$  - Área da bacia ( $\text{km}^2$ );

$$I = \frac{1.303,47 \times Tr^{0,126}}{(t+12)^{0,815}} = 191,2584 \text{ mm/h}$$

Onde:

$I$  - Intensidade máxima de chuva ( $\text{mm}/\text{h}$ );

$Tr$  - Tempo de recorrência (anos);

$t = t_c$  - Tempo de concentração (minutos).

$$t_c = 57 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} = 3,041 \text{ minutos}$$

Onde:

$t_c$  - Tempo de concentração (minutos);

$L$  - Comprimento do rio (km);

$H$  - Diferença de elevação da bacia (m).

#### A.1.4 CALHA PARSHALL

O medidor de regime crítico foi idealizado por PARSHALL (1950). O medidor constitui-se de uma seção convergente, uma seção estrangulada e uma seção divergente. As dimensões variáveis dos medidores Parshall estão representadas por letras na Figura A1.1 e as dimensões padronizadas destas variáveis encontram-se na Tabela A1.1.



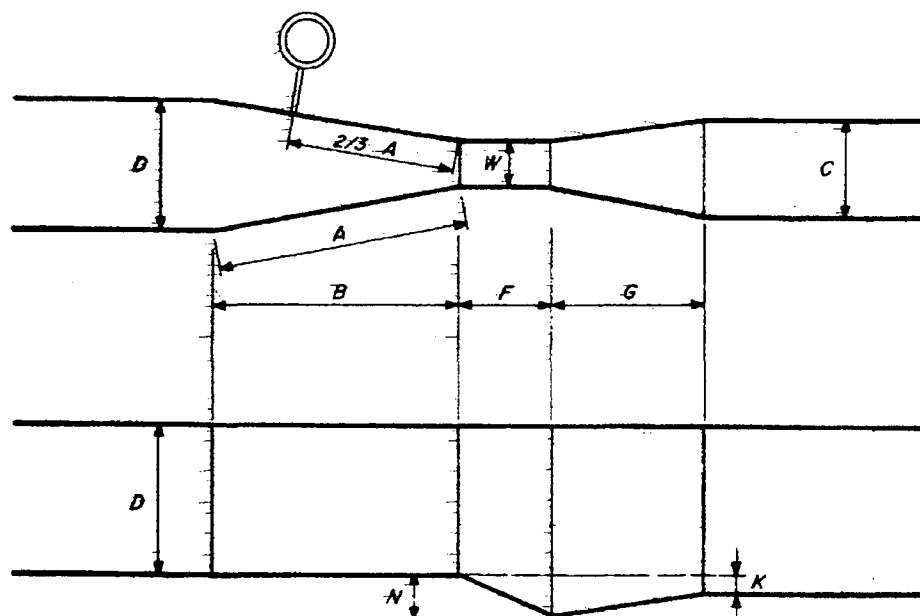


FIGURA A1.1 ESQUEMA DE UMA CALHA PARSHALL

Para encontrar as medidas padronizadas de uma calha Parshall (Tabela A1.1), deve-se calcular a vazão máxima ou mínima do canal. Neste trabalho foi calculada a vazão máxima.

TABELA A1.1 DIMENSÕES PADRONIZADAS DE MEDIDORES PARSHALL  
(cm).

W (cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	M	N
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	-	2,9
5,1	41,5	40,7	13,5	21,3	25,4	11,4	25,4	2,2	-	4,3
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	-	5,7
15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	30,5	11,4
22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	30,5	11,4
30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	38,1	22,9
45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	38,1	22,9
61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	38,1	22,9
91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	38,1	22,9
122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	45,7	22,9
152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	45,7	22,9
183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	45,7	22,9
213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	45,7	22,9
244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	45,7	22,9
305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,2	-	34,3
366,0	305,0	488,0	447,3	561,1	152,5	91,5	244,0	15,2	-	34,3
457,5	350,7	762,5	559,2	762,5	183,0	122,0	305,0	22,9	-	45,7
610,0	427,1	762,5	732,0	915,0	213,5	183,0	366,0	30,5	-	68,6
762,5	503,3	762,5	894,7	1068,0	213,5	183,0	396,5	30,5	-	68,6

Fonte: AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1991).

Para o dimensionamento da calha Parshall utilizada na Bacia do Pinus, foi usado o valor de W igual a 22,9cm.

Na Tabela A1.2, encontram-se os valores de vazões máximas suportadas nas calhas Parshall de determinadas secções e comprimento. Entrando-se na Tabela A1.2 com os valores de vazão máxima calculada, obtêm-se os valores de W, que por sua vez permite encontrar na Tabela A1.1 as dimensões da calha.

TABELA A1.2 LIMITE DE APLICAÇÃO PARA MEDIDORES PARSHALL COM  
ESCOAMENTO LIVRE

W (cm)	Capacidade (l/s)	
	Mínima	Máxima
7,6	0,85	53,8
15,2	1,52	110,4
22,9	2,55	251,9
30,5	3,11	455,6
45,7	4,25	696,2
61,0	11,89	936,7
91,5	17,26	1426,3
122,0	36,79	1921,5
152,5	62,8	2422,0
183,0	74,4	2929,0

Fonte: AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1991).

## ANEXO 2 CÓDIGO HYCYMODEL

```

C      HYCYMODEL

C      NO COMANDO A SEGUIR ESCREVA APÓS O SINAL DE IGUAL O NÚMERO
C      DE DADOS NO ARQUIVO DE ENTRADA
C      ESTE ARQUIVO É DECLARADO POR VOCÊ NA LINHA "INPUT".
      PARAMETER (IM=365)

C      CONTROLLABLE PARAMETERS ON HYCYMODEL
      PARAMETER (C=0.035, D16=1, D50=85, AK1X=10, AK2X=700, AK3X=58, AK4X=110)

C      FIXED PARAMETERS ON HYCYMODEL
      PARAMETER (Z=2.E-7,P12=0.6,P4=0.1)
      PARAMETER (IA=24)

C      PARAMETERS ESTIMED NET RAINFALL AT HILLSLOPE SURFACE
      PARAMETER (STAD=0.964, STOR=2.)

C      PARAMETER ESTIMATED TRANSPIRATION
      PARAMETER (PTA=85, PTB=49, PTC=12., Q4C=31)

C      DIMENSION MAKING
      DIMENSION RR(IM), RT(IM), RE(IM), QC(IM), QO(IM), QD(IM), QB(IM), Q2(IM),
      Q4(IM), *QH(IM), QCH(IM), MON(IM), EM(12), EE(IM), EI(IM), ET(IM), EC(IM)
      DIMENSION RE24(IM,24),RE24P(24)
      OPEN(25,FILE='C:\hycymodel\junho\dadospinus.prm', ACCESS='SEQUENTIAL')

C      NO ARQUIVO DE ENTRADA "*.PRN" COLOQUE OS DADOS NA ORDEM
      * MÊS (DIA(I)), CHUVA(RR(I)) E VAZÃO OBSERVADA (Q(O))
      OPEN(30,FILE='C:\hycymodel\junho\junho100.tcc', ACCESS='SEQUENTIAL')

C      O ARQUIVO DE SAÍDA É DECLARADO NA LINHA "SAÍDA", SE QUISER VER OS
      * RESULTADOS ABRA-O COM MENU - OPEN
      WRITE(30,400)
      400 FORMAT(1X,'-----')
      * /2X,'MON',4X,'RR',7X,'QC',9X,'QO',7X,'EE',7X,'EC',5X,'ET',6X,'EI',6X,'QH',6X,'QCH',
      * 6X,'QB',6X,'QD'/ 1X,'-----')

C      AO EXECUTAR DIGITE O NÚMERO 24 PORQUE É SÓ PARA DADOS DIÁRIOS
      AK2=AK2X
      AK3=AK3X
      AK4=AK4X*(1./24.):**P4
      AK4DY=AK4X*(1./24.):**P4
      S4C=AK4*(Q4C/(1.-C))**P4
      Z2=Z
      S3=0.
      DO 1 I=1,IM
        RE(I)=0.
        ET(I)=0.
        DO 30 J=1,24
          RE24(I,J)=0.
        30 CONTINUE
      1 CONTINUE
      DO 2 I=1,IM
        READ(25,*)MON(I),RR(I),QO(I)
      2 CONTINUE
      CLOSE(25)
      S4=AK4*(QO(I)/(1.-C))**P4
      CALL TRPRRT(EM,12,PTA,PTB,PTC)
      CALL TRFLD(RR,RT,IM,STAD,STOR)
      DO 3 I=1,IM
        EVT=0.
        S4IN=0.

```

```

AR=RT(I)/24
EV=EM(MON(I))/30.
S4IT=0.
EC(I)=EV
DO 4 J=1,24
    IF(AR.GT.0.) THEN
        DIN=S3+AR
        IF(DIN.GT.0.) THEN
            IE(S3.LT.0.) THEN
                AR=AR+S3
                S3=0.
            END IF
            CALL NDTR2(AR,BR,DIN,D16,D50)
            S3=S3+AR-BR
            S4IN=S3/AK3
            S3=S3-S4IN
            RE24(I,J)=BR
            RE(I)=RE(I)+BR
            S4IT=S4IT+S4IN
        ELSE
            S3=S3+AR
        END IF
        ELSE IF(S3.GT.0.) THEN
            S4IN=S3/AK3
            S4IT=S4IT+S4IN
            S3=S3-S4IN
        END IF
4 CONTINUE
IF(S3.GE.EV) THEN
    S3=S3-EV
    EVT=EVT+EV
    EV=0.
END IF
S4=S4+S4IT
Q4(I)=(S4/AK4)**(1./P4)
S4=S4-Q4(I)
IF(S4.GT.S4C) THEN
    S4=S4-EV
    EVT=EVT+EV
ELSE
    EV=EV*(S4/S4C)**(1./P4)
    EVT=EVT+EV
    S3=S3-EV
END IF
ET(I)=EVT
EI(I)=RR(I)-RT(I)
3 CONTINUE
DO 6 I=1,IM
    DO 7 J=1,24
        RE24P(J)=RE24(I,J)
    7 CONTINUE
    CALL STRGD(24,RE24P,Q2(I),AK2,P12,Z2,Z)
    QH(I)=(1.-C)*Q2(I)
    QCH(I)=C*RR(I)
    QD(I)=C*RR(I)+(1.-C)*Q2(I)
    QB(I)=(1.-C)*Q4(I)-C*EC(I)
    QC(I)=QD(I)+QB(I)
    EE(I)=C*EC(I)+(1.-C)*(EI(I)+ET(I))
6 CONTINUE

```

```
DO 8 I=1,IM  
    WRITE(30,200)MON(I), RR(I), QC(I), QO(I), EE(I), EC(I), ET(I), EI(I), QH(I), QCH(I),  
    *   QB(I), QD(I)  
        200FORMAT(2X,I2,2X,F6.2,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,F8.3,F8.3,F8.3,F8.3,F8.3.F8.3)  
    8 CONTINUE  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DA DESCARGA TOTAL ANUAL  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
VAZAO=0.  
DO 110 I=1,IM  
    VAZAO=VAZAO+QC(I)  
    110 CONTINUE  
VAZA01=VAZAO  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO TOTAL ANUAL  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
EVAPO=0.  
DO 120 I=1,IM  
    EVAPO=EVAPO+EE(I)  
    120 CONTINUE  
EVAPO1=EVAPO  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
CHUVA=0.  
DO 130 I=1,IM  
    CHUVA=CHUVA+RR(I)  
    130 CONTINUE  
CHUA1=CHUVA  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DO BALANÇO HÍDRICO ANUAL  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
BAL=0.  
DIF=0.  
PERVA=0.  
PEREV=0.  
PEAZ=0.  
BAL=VAZA01+EVAPO1  
DIF=(ABS(CHUA1-BAL))  
PERVA=VAZA01/CHUA1*100  
PEREV=EVAPO1/CHUA1*100  
PEAZ=DIF/CHUA1*100  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DO ESCOAMENTO DE BASE  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
BASE = 0  
DO 2424 I=1, IM  
    BASE = BASE + QB(I)  
    2424 CONTINUE  
BASE1=BASE  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
C     CALCULO DO ESCOAMENTO DIRETO  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
DIRETO = 0  
DO 2222 I=1, IM  
    DIRETO = DIRETO + QD(I)  
    2222 CONTINUE  
DIRET01=DIRETO  
C     XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```

C          ESCRIBE VALORES DE BALANCO (CHUVA, VAZAO E
EVAPOTRANSPIRACAO)
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
              WRITE(30,420)
              420 FORMAT(1X,'-----'/4X,'VAZAO',6X,'EVAPO',4X,'CHUVA',5X,'BAL',6X,
                * 'DIF',4X,'PVA',4X,'PEV',5X,'PAZ',18X,'QB',5X,'QD',/1X,'-----')
              WRITE(30,250)VAZAO1,EVAPO1,CHUVA1,BAL,DIF,PERVA,PEREV,PEAZ,BASE1,
                * DIRETO1
              250          FORMAT(2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,
F7.2,9X,F8.3,3X,F8.3)
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C          CALCULO DO ERRO F1
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
SM=0.
      DO 11 I=1,IM
      A=(ABS(QO(I)-QC(I)))/QO(I)
      SM=SM+A
11 CONTINUE
F1=SM/IM
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C          CALCULO DO ERRO F2
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
SM1=0.
SM2=0.
DO 12 I=1,IM
      SM1=SM1+QO(I)
      SM2=SM2+QC(I)
12 CONTINUE
F2=(ABS(SM1-SM2))/SM1
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C          ESCRIBE VALORES DE ERRO
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
WRITE(30,430)
      430 FORMAT(1X,'-----'/3X,F1,7X,F2,/1X,'-----')
WRITE(30,300)F1,F2
      300 FORMAT(2X,F6.3,2X,F6.3,2X)
STOP
END
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C          SUBROTINAS
C          XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
SUBROUTINE STRGD(ID,AR,QC,AK,P,ZZ,Z)
C          STORAGE FUNCTION BY RUNGE-KUTTA METHOD
C          FOR DAILY DATA
DIMENSION AR(ID)
T=1.
      IF(ZZ.LE.Z) ZZ=Z
TQ=0.
DO 1 I=1,ID
      A0=(AR(I)-ZZ)*ZZ**(1.-P)/AK/P
      D=ZZ+A0*T/2.
      A1=(AR(I)-D)*D**(1.-P)/AK/P
      D=ZZ+A1*T/2.
      A2=(AR(I)-D)*D**(1.-P)/AK/P
      D=ZZ+A2*T
      A3=(AR(I)-D)*D**(1.-P)/AK/P
      QQ=ZZ+T*(A0+2.*A1+2.*A2+A3)/6.
      TQ=TQ+QQ
      ZZ=QQ

```

```

1 CONTINUE
QC=TQ
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE TRFLD(R,RT,IM,C1,C2)
C-----
C    NET RAINFALL FOR DAILY DATA
DIMENSION R(IM),RT(IM)
CC=C2/C1
DO 1 I=1,IM
    IF(R(I).GT.CC) THEN
        RT(I)=C1*R(I)-C2
    ELSE
        RT(I)=0.
    END IF
1 CONTINUE
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE TRPRT(E,JM,C1,C2,C3)
C-----
C    MONTHLY TRANSPIRATION
PARAMETER (PAI=3.14159)
DIMENSION E(JM)
DO 1 I=1,JM
    E(I)=1.0*(C1+C2*SIN(PAI/6. *(FLOAT(I)-C3)))
1 CONTINUE
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE NDTR2(RIN,ROUT,DIN,D16,D50)
C-----
C    APROXIMATE ESTIMATION OF LOG NORMAL DISTRIBUTION
DOUBLE PRECISION FUNC,X1,X2,X3,X4,X5,X6,W,UU
PARAMETER (X1=0.0498673470, X2=0.0211410061, X3=0.0032776263, X4=0.0000380036,
    * X5=0.0000488906, X6=0.0000053830)
FUNC(W)=1.+W*(X1+W*(X2+W*(X3+W*(X4+W*(X5+W*X6))))))
ALN=LOG(10.)
SIG=D50/D16
SIGMA=LOG(SIG)/ALN
U1=DIN/D50
AKUSAI=LOG(U1)/ALN/SIGMA
W=ABS(AKUSAI)
UU=0.5*FUNC(W)**(-16.)
IF(AKUSAI.GT.0.) UU=1.-UU
ROUT=RIN*UU
RETURN
END

```



### ANEXO 3 DADOS MEDIDOS NO TRABALHO

TABELA A3.1 PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NA BACIA DO PINUS EM mm  
DURANTE O PERÍODO DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001

DIA	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.
01	0	4	0	9	0	0	0	2	0	32	0	0
02	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0
03	11	8	0	0	0	0	0	55	7	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	51	16	0	35	0
05	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	18	8	2	0	0	31
07	0	0	0	0	0	0	3	0	10	0	0	10
08	0	0	0	0	14	0	0	0	30	0	0	0
09	0	0	0	0	12	0	32	0	30	18	0	0
10	46	0	0	39	0	0	25	0	18	2	21	0
11	4	0	13	5	36	0	22,5	20	0	0	5	0
12	0	0	65	0	0	0	8	0	0	0	0	0
13	0	0	73	30	0	0	0	11	0	0	0	0
14	0	0	80	25	2	4	0	16	2	0	0	0
15	9	20	17	0	0	13	1	10	32	0	0	0
16	0	0	32	0	0	10	0	0	3	0	15	12
17	0	14	33	79	0	0	0	15	48	0	5	15
18	0	0	12	30	20	0	0	1	17	0	0	0
19	0	0	86	0	0	0	10	50	0	0	0	15
20	0	0	0	0	0	0	18	41	0	8	20	8
21	0	0	0	0	10	0	40	7	15	10	10	0
22	13	0	0	0	0	22	0	0	10	7	26	0
23	13	0	0	0	0	0	0	2	12	15	0	0
24	0	0	76	0	14	30	50	0	8	27	0	5
25	0	0	0	0	0	0	25	40	0	2	0	55
26	0	22	0	0	0	0	7	3	0	0	0	20
27	0	10	0	30	0	18	0	0	20	0	28	0
28	0	0	0	0	0	10	7	0	0	0	22	0
29	0	0	0	0	0	6	0	-	0	0	5	0
30	0	0	0	0	10	20	8	-	0	0	0	0
31	-	9	-	0	-	0	28	-	0	-	0	-
	96	87	487	247	122	135	302,5	335	280	121	192	171

TABELA A3.2 VAZÃO OBSERVADA NA BACIA DO PINUS EM mm/dia  
DURANTE O PERÍODO DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001.

DIA	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.
01	1,25	1,64	2,06	6,96	3,44	1,85	3,27	3,8	4,84	5,87	2,6	5,05
02	1,19	1,57	1,92	6,4	3,89	1,64	3,1	3,44	3,89	4,26	2,52	4,95
03	1,38	1,71	1,85	5,87	3,01	1,51	2,93	7,52	4,94	3,98	2,44	4,36
04	1,19	1,57	1,78	5,45	3,01	1,51	2,76	14,72	4,84	3,89	3,18	4,17
05	1,07	1,85	1,71	5,35	2,6	1,57	2,6	8,46	3,44	3,71	3,18	4,08
06	1,01	1,85	1,64	4,84	2,6	1,44	2,68	7,52	5,04	3,71	3,1	16,95
07	1,01	1,71	1,64	4,36	2,37	1,44	2,68	6,4	6,51	3,44	2,6	4,85
08	0,9	1,64	1,64	4,07	3,01	1,31	2,6	5,87	16,19	3,27	2,6	4,65
09	0,84	1,64	1,38	3,89	2,93	1,19	2,6	5,35	14,72	3,44	2,44	5,15
10	5,87	1,51	1,38	5,55	2,6	1,25	3,44	4,84	12,05	3,35	3,71	4,85
11	5,45	1,44	2,6	4,26	4,26	1,25	6,19	4,94	8,11	3,1	3,62	4,27
12	3,53	1,38	6,4	3,89	4,07	1,19	3,27	4,36	7,18	3,01	2,76	4,17
13	3,18	1,38	6,96	18,97	3,44	1,25	3,01	4,36	6,51	2,76	2,6	3,99
14	3,1	1,31	39,19	4,84	3,35	1,25	2,68	4,74	5,87	2,68	2,6	3,89
15	3,35	2,06	32,48	10,46	3,01	1,85	2,52	5,14	6,4	2,6	2,52	3,8
16	2,68	1,71	17,72	9,32	2,68	1,85	2,29	3,89	5,87	2,6	3,1	3,71
17	2,6	5,87	20,1	17,26	2,6	1,78	2,21	3,89	12,18	2,52	2,93	3,89
18	3,35	2,21	14,14	11,78	3,1	1,64	2,06	3,8	10,2	2,44	2,85	3,8
19	3,01	1,85	21,74	9,95	2,6	1,57	2,21	6,96	7,52	2,29	2,6	5,35
20	1,99	1,78	21,24	8,71	2,29	1,44	2,37	6,96	6,84	3,44	4,84	4,08
21	1,99	1,71	19,13	7,52	2,52	1,44	4,17	9,32	7,52	2,68	3,89	3,99
22	3,89	1,64	14,57	6,96	2,21	2,6	3,44	8,11	6,96	2,6	5,14	3,89
23	2,76	1,51	11,64	6,29	1,92	2,44	3,1	5,87	6,4	5,35	4,45	3,8
24	2,68	1,51	23,42	5,87	3,62	7,52	6,84	5,87	6,96	3,98	4,26	3,89
25	1,85	1,44	13,15	5,24	2,52	2,6	17,41	9,32	6,62	3,18	4,26	12,6
26	3,27	4,17	11,24	4,84	2,21	2,29	5,87	6,4	6,19	3,01	3,89	8,11
27	1,99	2,68	8,95	5,97	2,21	3,18	4,84	5,97	5,66	2,93	5,45	7,53
28	1,99	2,29	8,71	4,84	1,85	3,27	4,84	5,35	4,65	2,76	6,08	6,41
29	1,85	2,21	7,52	4,17	1,85	4,07	4,26	173,29	4,36	2,68	5,55	5,35
30	1,71	2,06	6,84	3,98	2,21	4,36	4,84	-	4,17	2,6	5,24	5,05
31	1,71	2,21	-	3,71	-	3,44	4,17	-	3,89	-	4,84	-
	73,64	61,24	324,87	211,71	84,02	66,99	121,41	173,29	216,12	98,28	111,84	160,64

TABELA A3.3 PRECIPITAÇÃO DIÁRIA (mm) DE JULHO DE 2000 A JUNHO DE 2001, MEDIDA NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE IRATIN (SUDERHSA).

Dia	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
01	0	0	3,3	5,3	3,5	6,7	0	0	0	11,2	0	0
02	0	0,5	7,6	8,2	0	0	0	0	0	13,3	0	0
03	15	1,7	0	0	11,8	19,9	0	13,4	6,2	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	6,9	0	0	25,4	0
05	0	0	0	24,4	0	0	0	0	0	0	1,9	0
06	0	0	0	0	0	0	10,7	6,1	19,1	0	0	0
07	0	0	0	0	0	0	1,4	0	9,3	0	0	34,5
08	0	0	0	0	14,1	0	0	0	0,7	0	0	0
09	0	0	0	0	26,7	0	14,5	0	4,6	54,9	0	0
10	52,8	1,4	0	22	0	0	6,1	0	11,9	0	0	0
11	23,3	0	25,9	0,3	19,3	0	0,8	3,9	0	2,9	23	0
12	4	0	51,5	0	0	0	16,6	2,1	0	0	0	0
13	0	0	35,5	2,1	6,5	6,7	0,9	8,2	0	0	0	0
14	0	0	6,4	61,4	0	0	0	29	0	0	0	0
15	6	8,9	69,1	6,9	0	11,9	27,2	9,1	10,4	0	0	0
16	0	18	15,2	4,6	0	10,3	2,2	5,4	5,1	0	17,2	0
17	0	0	27,9	20,2	0	0	0	0	6,2	0	2,5	24,7
18	0	0	24,5	13,9	2,7	0	15,2	0	46,7	0	0	0
19	0	0	34,6	0	0	0	0	68,7	3,6	0	0	1,8
20	0	18	25,5	0,6	2,2	0	29,2	25,9	0	0	0	14,2
21	0	0	0	0	6	0	0,9	23,5	0	22	19,7	0
22	0,8	0	7,8	0	2,5	14,9	1,2	0	17,4	3,1	34,5	0
23	31,5	0	0	0	0	0	9,1	6,4	0	5,6	0	0
24	0	0	23,7	0	0	8,1	18,9	4,8	8,5	2,7	0	0
25	0	0	8	0	12,3	40,7	35,4	0	0,8	16,5	0	2
26	0	0	0	0	0	0	2,4	2,8	3,2	1,4	0	46,2
27	0	41,8	0	18	0	2	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	6	72,8	0	0	0	57	0
29	0	0	0	0	4	0,3	0		0	0	0,9	0
30	1,5	0	4,3	0	5,2	26,8	15,1		0	0	0	0
31	0	2		0		0	12,7		0		0	
	134,9	92,3	370,8	187,9	116,8	154,3	293,3	216,2	153,7	133,6	182,1	123,4